CONIGTI

V CONGRESSO INTERNACIONAL DE GESTÃO, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

30 DE SETEMBRO A 04 DE OUTUBRO

URI ERECHIM // ERECHIM // RIO GRANDE DO SUL // BRASIL

# ANAIS

Patrocínio

DIAMANTE

TOP FORMATURAS E EVENTOS

CAMPOS CASA DO VIDRO

OURO

ENGIE

Apoio

GALGO BEER HOUSE

KERBERMIX NOSSO PRODUTO É CONCRETO

GRAHAM INVESTIMENTOS

Parceiro

ibis HOTELS

URI ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

Todos os direitos reservados à EDIFAPES.
Proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma e por qualquer meio mecânico ou eletrônico, inclusive através de fotocópias e de gravações, sem a expressa permissão dos autores. Os dados e a completude das referências são de inteira e única responsabilidade dos autores.

Conselho Editorial:
Adilson Luíz Stankiewicz (URI / Erechim/RS) – Presidente
Arnaldo Nogaro (URI / Erechim/RS)
Cláudia Petry (UPF / Passo Fundo/RS)
Elcemina Lucia Balvedi Pagliosa (URI / Erechim/RS)
Elisabete Maria Zanin (URI /Erechim/RS)
José Eduardo dos Santos (UFSCar - São Carlos/SP)
Maria Elaine Trevisan (UFSM / Santa Maria/RS)
Jadir Camargo Lemos (UFSM / Santa Maria/RS)
Michèle Satto (IFMT / Cuiabá/MT)
Neila Tonin Agranionih (UFPR / Curitiba/PR)
Sérgio Bigolin (URI / Erechim/RS)
Yuri Tavares Rocha (USP / São Paulo/SP)

---

C749a Congresso Internacional de Gestão, Tecnologia e Inovação URI (CONIGTI)
(5. : 2019: Erechim, RS)
Anais [recurso eletrônico]: / V Congresso Internacional de Gestão, Tecnologia e Inovação URI (CONIGTI). - Erechim, RS, 2019.
1 recurso online

ISBN 978-85-7892-164-4

Modo de acesso:
< http://www.uricer.edu.br/site/informacao.php?menu_superior_adicional=18>
Título da página da Web (acesso em: 30 set. 2019).

Evento realizado na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

"Organização: Jessie Carvalho Bruhn; Arthur Bortolin Beskow Cristiano Vitorino da Silva."

1. Engenharias – interdisciplinaridade 2. Tecnologia e inovação 3. Mostra Científica 5. Internacionalização I. Título

CDU: 62(063)

Catalogação na fonte: bibliotecária Sandra Milbrath CRB 10/1278

EDIFAPES
Livraria e Editora
Av. 7 de Setembro, 1621
99.709-910 – Erechim-RS
Fone: (54) 3520-9000
www.uricer.edu.br

CONIGTI

5th International Congress of Management, Technology and Innovation

September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil

URI ERECHIM

# Comissão Organizadora

**COORDENAÇÃO GERAL**
PROFª JESSIE CARVALHO BRUHN

**ADMINISTRATIVO**
JANAÍNA RODRIGUES
LEONARDO SANTIN DALL'AGNOL

**LOGÍSTICA**
PROFª CRISTINA VITORINO DA SILVA
PROFª SUELEN CRISTINA VANZETTO

**INFRAESTRUTURA E MANUTENÇÃO**
PROF. CÁSSIO LUCIANO BARATIERI
PROF. MARCO ANTÔNIO SAMPAIO FERRAZ DE SOUZA

**IDENTIDADE VISUAL**
PROF. DARLLAN FABIANI S. SANTOS
PROFª SARA ROESLER

**MOSTRA CIENTÍFICA**
PROF. ARTHUR BORTOLIN BESKOW

# Comissão Científica

ALEXANDER JUNGES
ANTONIO SERGIO DO AMARAL
ARTHUR BORTOLIN BESKOW
BIANCA GASPARETTO REBELATTO
CAMILA SAMPAIO DOS REIS
CÁSSIO LUCIANO BARATIERI
CLARICE STEFFENS
CLEMERSON ALBERI PEDROSO
CONRADO ERMEL
CRISTIANO VITORINO DA SILVA
CRISTINA VITORINO DA SILVA
DEISE TREVIZAN PELISSARO
DINIANE BARUFFI
ELISANDRA RIGO
EUNICE VALDUGA
GECIANE TONIAZZO BACKES
GILSON FRANCISCO PAZ SOARES
GISELLE REIS ANTUNES
GLÊNIO LUIS DE VASCONCELLOS RIGONI
GUILHERME VICTOR VANZETTO
GUILHERME VIEIRA BRAGA LEMOS
HENRIQUE STABILE DE ALMEIDA
ILIZANDRA APARECIDA FERNANDES
IVANA KARINE AVER
JAMILE ZENI
JANAÍNA RODRIGUES
JESSICA ANDRADE MICHEL
JESSIE CARVALHO BRUHN
JOSE LUIS RODRIGUEZ BROCHERO
JULIANA STEFFENS
LUCIANA DE NAZARÉ PINHEIRO CORDEIRO
MAÍRA OLIVEIRA PIRES
MARCELO MIGNONI
MARCIO WALBER
MARCO ANTONIO SAMPAIO FERRAZ DE SOUZA
MARIA LUIZA SPERB INDRUSIAK
MELISSA LAUS MATTOS
NATALIA NAKADOMARI BULA
NATALIA PAROUL
OSÉIAS MATIAS DE OLIVEIRA ESMELINDRO
PAULO SÉRGIO GOMES DA ROCHA
PEDRO LANDO BELLANI
RAUL VANZ
ROBERTA FÁTIMA NEUMEISTER
ROGÉRIO LUIS CANSIAN
ROGÉRIO MARCOS DALLAGO
ROSICLER COLET
SUELEN CRISTINA VANZETTO
TANCREDO WESTPHAL JUNIOR
VANDERLEI SECRETTI DECIAN
VANESSA TIBOLA DA ROCHA
VIVIAN POLACHINI SKZYPEK ZANARDO

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil

URI ERECHIM

## Apresentação

O V Congresso Internacional de Gestão, Tecnologia e Inovação integra diversos cursos, de diferentes áreas do conhecimento, além da possibilidade de promover a internacionalização.

## Objetivos

- Complementar a formação acadêmica dos estudantes;
- Abordar temas novos ou não comtemplados na grade curricular dos cursos;
- Permitir o contato dos participantes com pesquisadores e profissionais de outras instituições e empresas, visando o intercâmbio e expansão de conhecimentos nas mais diferentes áreas;
- Estabelecer contato direto com a aplicação do conhecimento científico por meio de minicursos teórico/práticos;
- Incentivar os discentes a efetuar pesquisa e divulgar seus trabalhos à comunidade científica.

## Realização

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# Índice

## Arquitetura e Urbanismo (AU)

### AU – Conforto Ambiental e Eficiência Energética


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| RICARDO DALPAZ<br>ODORICO KONRAD | PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS COM DIFERENTES PERCENTUAIS DE METANO: UMA PROPOSTA PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E TÉRMICA | 19 |


### AU – Desenvolvimento Sustentável


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| FERNANDA BALDUS<br>PALOMA TRUCCOLO REATO<br>FRANCIELE FÁTIMA MARQUES<br>TALISSA TRUCCOLO REATO | ENERGIAS RENOVÁVEIS E O DIREITO HUMANO FUNDAMENTAL AO MEIO AMBIENTE SADIO E EQUILIBRADO | 28 |
| JÉSSICA SILVA DE JESUS<br>DIONEI JOSE SERAFIN WIECZOREK<br>CRISTIANE ANTONIA MAKIJEWSKI<br>MARIELE ZAWIERUCKA BRESSAN | O SANEAMENTO É BÁSICO E O BÁSICO É ESSENCIAL | 34 |
| RAIANE LUIZA BALESTRIN BEZ<br>HELEN BALESTRIN<br>IVANA KARINE AVER | NOSSA CIDADE, NOSSO FUTURO: EXPLORANDO O TRANSPORTE SUSTENTÁVEL NAS CIDADES EUROPEIAS | 40 |
| LUCAS CARVALHO VIER<br>GUILHERME JORDÃO CARDOSO<br>FÁBIO AUGUSTO HENKES HUPPES<br>JOÃO PEDRO ENDRES<br>RODRIGO HENRYQUE R. QUEVEDO MELO | ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA UTILIZAÇÃO DE TELHADO VERDE EM UMA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO ESTRUTURA APORTICADA | 48 |


### AU – Ensino e Processo de Projeto Arquitetônico


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| CARINE FÁTIMA SCANAGATTA<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA | CENTRO COMUNITÁRIO: UMA ANÁLISE DE TRÊS ESTUDOS DE CASO | 57 |
| GIAN MARCELO DOS REIS<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA<br>ROBERTA GRENDENE | TERMINAIS RODOVIÁRIOS: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE ESTUDOS DE CASO | 64 |
| LAURA CAMPAGNA BASSO<br>LAURO ANDRÉ RIBEIRO<br>HENRIQUE KUJAWA | A TECNOLOGIA COMO FERRAMENTA DE METODOLOGIA ATIVA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE ARQUITETURA E URBANISMO: RELATO DE EXPERIÊNCIA | 70 |
| LETÍCIA REGINA PEREIRA BANHARA<br>EMERSON RAFAEL GALLI | ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE PARA IDOSO EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL | 80 |
| LETÍCIA REGINA PEREIRA BANHARA<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA | A INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA NO ENVELHECIMENTO ATIVO | 88 |


### AU – Qualidade do Projeto


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| DANIELA ROSIN<br>ANA PAULA ZULIAN<br>NATALIA NAKADOMARI BULA | ANÁLISE DE TERMINAL RODOVIÁRIO MUNICIPAL: BARREIRAS TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS | 97 |
| DIENIFER SECCHI<br>SARA ROESLER<br>DARLLAN FABIANI DA SILVA SANTOS | AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESPAÇO DA PRAÇA JÚLIO DE CASTILHOS EM ERECHIM-RS | 103 |
| GABRIELA OCHIAL STANKIEWICZ<br>PAULA GISELE GOMES RASSIA | AVALIAÇÃO DOS FLUXOS ESTABELECIDOS EM UMA PRAÇA DE ALIMENTAÇÃO DE UM SUPERMERCADO | 112 |

| | | |
|---|---|---|
| LAURA FORCELINI PERTILLE<br>LETÍCIA REGINA PEREIRA BANHARA<br>ROBERTA FERRARESE | ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE PARA IDOSOS EM UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE | 119 |
| MARJANA TORTELLI<br>RENAN SCAPINELLO | VIGA VAGÃO: ALTERNATIVA ESTRUTURAL PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS ARQUITETÔNICOS | 126 |
| MARCIA CUIAVA<br>MÔNICA BRANDLER<br>CARINE SCANAGATTA<br>ADRIANA PAULA DANIEL<br>MARCIANE ZIGER<br>SARA ROESLER | A IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO PÓS OCUPAÇÃO NOS PROJETOS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA | 135 |
| ADRIANA PAULA DANIEL<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA<br>NATALIA NAKADOMARI BULA | BIBLIOTECA PARQUE: SUBSÍDIOS PARA UMA PROPOSTA PROJETUAL | 142 |


### AU – Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| CAROLINE LEMOS MEDEIROS<br>LARA CASSIANA KNORST COLLING<br>NATALIA NAKADOMARI BULA | HABITAR NOS ANOS 50 E NA ATUALIDADE: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DE SÃO PAULO. | 150 |
| BEATRIZ MARIA VALDUGA<br>NATÁLIA BISCAGLIA PEREIRA | OS MOINHOS COLONIAIS NA REGIÃO DO ALTO URUGUAI | 160 |
| RAIANE LUIZA BALESTRIN BEZ<br>FERNANDA ANDRESSA GAUER<br>HELEN BALESTRIN<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA<br>ALANA SACCOMORI GIESEL | INTER-RELAÇÕES ARQUITETÔNICAS: A ÁFRICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O BRASIL | 166 |


### AU – Urbanismo: Inserção Urbana e Infraestrutura Urbana


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| FERNANDA TOCHETTO<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA | SMART CITIES: INTELIGÊNCIA E SUSTENTABILIDADE URBANA | 173 |
| HELEN BALESTRIN<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA<br>RAIANE LUIZA BALESTRIN BEZ<br>ALANA SACCOMORI GIESEL<br>FERNANDA GAUER | ÁREAS VERDES: DO PLANEJAMENTO URBANO À QUALIDADE DE VIDA | 180 |
| IVANA KARINE AVER | PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL: ANTECEDENTES HISTÓRICOS | 187 |
| IVANA KARINE AVER | OCUPAÇÃO TERRITORIAL E PLANEJAMENTO REGIONAL: O CASO DO OESTE CATARINENSE | 193 |
| JESSICA ANDRADE MICHEL<br>RAUL JOSÉ DOS SANTOS MICHEL JUNIOR | PROPOSTA IMPLEMENTAÇÃO DO DESENHO URBANO SENSÍVEL À ÁGUA NO MUNICÍPIO DE SARANDI -RS | 199 |
| NATÁLIA BISCAGLIA PEREIRA<br>AMANDA ZANELLA | HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL E ALUGUEL SOCIAL | 209 |
| ROCHANA BASSO<br>CARLOS ANTÔNIO DA SILVA | ALGUNS ASPECTOS DA LEI 13.465/2017: O QUE MUDOU PARA OS ARQUITETOS E OUTROS ATORES SOCIAIS | 215 |


## Engenharia Civil (EC)

### EC – Construção Civil | Materiais de Construção | Meio Ambiente


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| ALANA SACCOMORI GIESEL<br>FERNANDA ANDRESSA GAUER<br>ALESSANDRO EMILIO VALMORBIDA<br>RAIANE LUIZA BALESTRIN BEZ<br>HELEN BALESTRIN | ESTUDO SOBRE O USO DA NANOTECNOLOGIA NA PRODUÇÃO DE TINTAS TERMO ISOLANTES | 225 |

| | | |
|---|---|---|
| ALESSANDRO EMILIO VALMORBIDA<br>CALISIANI CATIANI AZZOLINI<br>ED WILSON SCHNEIDER | ESTUDO SOBRE O USO DA TOPOGRAFIA NATURAL DO TERRENO APLICADA EM PROJETOS DE ARQUITETURA | 231 |
| ALESSANDRO EMILIO VALMORBIDA<br>RAFAEL FIORENTIN | ESTUDO COMPARATIVO PARA VERIFICAR SE A REDUÇÃO DO FATOR ÁGUA/CIMENTO CONTRIBUIRÁ PARA A NÃO UTILIZAÇÃO DE IMPERMEABILIZANTE NO CONCRETO | 238 |
| BEATRIZ SCHIMELFENIG<br>MILENA FABIANI PINTO<br>MARIANA VARGAS<br>DINIANE BARUFFI<br>CRISTINA VITORINO DA SILVA | INFLUÊNCIA DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR) COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS | 245 |
| EDSON TESSMANN AMARAL<br>ALESSANDRO EMILIO VALMORBIDA | ESTUDO QUALITATIVO DA UTILIZAÇÃO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO COMO FÔRMA PARA OS PILARES DE CONCRETO ARMADO EM OBRAS DE PEQUENO PORTE DA CIDADE DE ERECHIM - RS | 255 |
| ELEN BOFF<br>ALEXANDRE DALL´AGNOL<br>AMANDA SILVEIRA<br>EMMYLE MARCON<br>JÚLIA HENRICH<br>LUIS FELIPE FOSCARINI<br>MÁRCIO BALDISSERA PRAUCHNER<br>RICHARD THOMAS LERMEN<br>RODRIGO DE ALMEIDA SILVA | EFEITOS DO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO EM MOBILIÁRIO URBANO DE REDES ELÉTRICAS NA CIDADE DE MARAU – RS | 262 |
| FERNANDA DE MARCO<br>TUANI ZAT<br>WILLIAM WIDMAR CADORE<br>LARISSA DALPIVA RIBOLI<br>VANESSA INÊS URNAU | AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE GARIMPOS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS | 270 |
| FERNANDA DE MARCO<br>VANESSA INÊS URNAU<br>LARISSA DALPIVA RIBOLI<br>WILLIAM WIDMAR CADORE<br>TUANI ZAT | EFEITO DO USO DO RESÍDUO DE ROCHA AMETISTA NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DIAMETRAL E NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM CONCRETOS | 277 |
| FERNANDA GAUER<br>TAINARA CONTE<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA<br>ALANA SACCOMORI GIESEL<br>HELEN BALESTRIN<br>RAIANE LUIZA BALESTRIN BEZ | COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS: UMA ANÁLISE TEÓRICA SOBRE O USO DA TECNOLOGIA BIM | 284 |
| GABRIELA CARON<br>FRANCESCOLI ANTONIETTI<br>GABRIEL DALLA VECHIA<br>SUELEN CRISTINA VANZETTO | REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO PÓ DE MDF COMO ADITIVO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO | 290 |
| GABRIELA CARON<br>LETÍCIA RADIN<br>GABRIEL DALLA VECHIA<br>SUELEN CRISTINA VANZETTO | ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM CONCRETOS | 299 |
| GUILHERME DIEGO BULAU<br>DIONATHAN LUCAS ZULIAN MATTES<br>GUILHERME ZORZI ANDRIGHI<br>JOÃO PAULO GIACOMOLLI<br>MURILO HENRIQUE ROLL<br>VICTOR MANOEL PASSAGLIA | MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS: ESTUDO DE CASO | 305 |
| HIGOR VINÍCIUS STRAPASSON<br>MAGDA LUÍSA TEBALDI<br>KARINA PEREIRA DA CRUZ<br>EMANUELA PANSERA<br>RONALDO PAGLIARINI FACCIO<br>CRISTINA VITORINO DA SILVA | AVALIAÇÃO DA UNIÃO DE CONCRETOS DE DIFERENTES IDADES COM USO DE ADESIVO DE NATA DE CIMENTO PARA TRATAMENTO SUPERFICIAL DO CONCRETO | 313 |

| | | |
|---|---|---|
| HIGOR VINÍCIUS STRAPASSON<br>MILENA ZICATTO<br>CRISTINA VITORINO DA SILVA | ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE NANOSÍLICA (NS) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR) | 321 |
| JOÃO PEDRO ENDRES<br>ALESSANDRO GRAEFF GOLDONI<br>FÁBIO AUGUSTO HENKES HUPPES<br>GUILHERME JORDÃO CARDOSO<br>LUCAS CARVALHO VIER<br>RODRIGO HENRYQUE REGINATO QUEVEDO MELO | AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO | 327 |
| KARINA PEREIRA DA CRUZ<br>EMANUELA PANSERA<br>HIGOR VINÍCIUS STRAPASSON<br>MAGDA LUÍSA TEBALDI<br>RONALDO PAGLIARINI FACCIO<br>CRISTINA VITORINO DA SILVA | MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS NA REGIÃO DE ERECHIM – RS: ESTUDOS DE CASO | 335 |
| LEONARDO MENEGON CIESLAK<br>FABÍULA ARIANE ZURAVSKI<br>MATEUS BADALOTTI SANTIN<br>NATÁLIA ALVES CHECATO<br>SUELEN CRISTINA VANZETTO | MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE ATERRO PARA RESÍDUOS URBANOS | 342 |
| LEONARDO MENEGON CIESLAK<br>SUELEN CRISTINA VANZETTO<br>VICTOR MANOEL PASSAGLIA<br>MATEUS BADALOTTI SANTIN<br>JONATAN FERREIRA | ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO ARENOSO COM CINZA DA CASCA DE ARROZ E CAL PARA UTILIZAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTO | 348 |
| LUCAS CARDOSO DA SILVA<br>GUSTAVO PRATES MEZZOMO<br>MÁRCIO WALBER | PROJETO DE GUIAS AUTO TELESCÓPICAS PARA FÔRMAS DESLIZANTES | 357 |
| MARIANA BALVEDI ZAKRZEVSKI<br>GILSON FRANCISCO PAZ SOARES | ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES BLOCO E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS UTILIZADOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA CIDADE DE ERECHIM/RS | 367 |
| MARIANA ZUCCHI VARGAS<br>RAFAEL DANILO VIAL<br>BEATRIZ SCHIMELFENIG<br>CRISTINA VITORINO DA SILVA | ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES DOSAGENS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PARA PRÉ-MOLDADOS | 376 |
| MATEUS BADALOTTI SANTIN<br>DEISE TREVIZAN PELISSARO<br>BRUNO SZLACHTA VININOSKI | ESTUDO DE MISTURAS DE SOLOS COM DIFERENTES AGREGADOS FINOS PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS | 384 |
| MATEUS BADALOTTI SANTIN<br>DEISE TREVIZAN PELISSARO<br>NATHAN PEDOTT LANSANA | ESTUDO DE MISTURAS DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE JACUTINGA-RS COM AREIA DE FUNDIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS | 391 |
| MILENE REGINA BADALOTTI<br>MARIANA ZUCCHI VARGAS<br>BEATRIZ SCHIMELFENIG<br>CRISTINA VITORINO DA SILVA | ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO EM PASTAS DE CIMENTO | 397 |
| ROBERTA GAZOLLA FERRARESE<br>ANA PAULA ZULIAN<br>RODRIGO GAZOLLA FERRARESE | SUSTENTABILIDADE: MATERIAIS DE BAIXO IMPACTO | 404 |
| ROBERTA GAZOLLA FERRARESE<br>RODRIGO GAZOLLA FERRARESE | MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS CONSTRUÍDAS EM AMBIENTE MARÍTIMO | 410 |
| RODRIGO HENRYQUE REGINATO QUEVEDO MELO<br>LUCIANA MARCONDES PANDOLFO<br>JOÃO PEDRO ENDRES<br>LUCAS CARVALHO VIER<br>FÁBIO AUGUSTO HENKES HUPPES<br>GUILHERME JORDÃO CARDOSO | ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA EM ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM AREIA DE BRITAGEM | 416 |

| | | |
|---|---|---|
| RODRIGO PADILHA DOS SANTOS<br>FRANCIELI TIECHER BONSEMBIANTE | AREIA VERDE DESCARTADA DE FUNDIÇÃO: POTENCIALIDADE DO SEU USO EM CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA | 424 |
| VICTOR MANOEL PASSAGLIA<br>LEONARDO MENEGON CIESLAK<br>MATEUS BADALOTTI SANTIN<br>SUELEN VANZETTO | ANÁLISE DOS REJEITOS DA EXTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO EM BARRAGENS E POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 430 |

### EC – Mecânica dos Sólidos | Estruturas

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| FELIPE CASTELLI SASSO<br>ZACARIAS MARTIN CHAMBERLAIN PRAVIA | ANÁLISE ELÁSTICA DE ESTABILIDADE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS EM PERFIS FORMADOS A FRIO | 437 |
| GILSON FRANCISCO PAZ SOARES<br>MARCELO RIEDEL<br>MARIANA BALVEDI ZAKRZEVSKI | ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PRISMAS DE BLOCOS ESTRUTURAIS CERÂMICOS | 444 |
| GILSON FRANCISCO PAZ SOARES<br>MARINA CARLA MARMENTINI<br>MARIANA BALVEDI ZAKRZEVSKI | ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCO ESTRUTURAL CERÂMICO | 450 |
| JOÃO PEDRO ENDRES<br>FÁBIO AUGUSTO HENKES HUPPES<br>GUILHERME JORDÃO CARDOSO<br>LUCAS CARVALHO VIER<br>RODRIGO HENRYQUE REGINATO QUEVEDO MELO | AVANÇO COMPUTACIONAL NA ELABORAÇÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 456 |
| KATIA ANDRESSA ZANELLA<br>TANCREDO WESTPHAL JUNIOR | SIMULAÇÃO DE EIXOS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA POR ELEMENTOS FINITOS NO ANSYS WORKBENCH E COMPARAÇÃO COM O SISTEMA MSBFEA | 462 |
| MATHEUS RAFAEL DALPONTE<br>DEISE TREVIZAN PELISSARO<br>MATEUS BADALOTTI SANTIN | ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FUNDAÇÕES ATRAVÉS DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA | 468 |
| MICHEL DA SILVEIRA | SIMULAÇÃO DE PROBLEMAS ESTRUTURAIS COM OS PROGRAMAS VISUALFEA E MSBFEA | 476 |
| WÉSLEN GIACOMINI ZANELLA<br>FÁBIO GOEDEL | FILTROS DIGITAIS APLICADOS NO PROCESSAMENTO DE SINAIS DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS | 484 |

### EC – Projetos de Instalações Civis

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| RODRIGO GAZOLLA FERRARESE<br>ROBERTA GAZOLLA FERRARESE | MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 495 |

## Engenharia de Alimentos | Engenharia Química | Química Industrial (EA-EQ-QI)

### EA-EQ-QI – Engenharia de Processos

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| CRISTIELI FOLLADOR FARINA<br>EUNICE VALDUGA<br>FERNANDA BALDUS<br>FRANCIELE BERNARDI<br>GREICE MARIA OSTROWSKI<br>IEMEDELAIS BORDIN<br>JULIA FACCIO DEMOLINER<br>JULIANA STEFFENS<br>MARIA EDUARDA WLODARKIEVICZ<br>PALOMA TRUCCOLO REATO | DIMENSIONAMENTO DE DECANTADOR PARA SUSPENSÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO | 502 |
| EDUARDO RAMOS LAMPERT<br>MÁRCIO WALBER<br>GUILHERME ANDREOLLA MONTEIRO | ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE UM COMPONENTE PARA O RODADO DE UMA MÁQUINA AGRÍCOLA | 509 |
| ELIÉZER QUADRO ORESTE<br>MARIA CAROLINA SALUM BULHOSA<br>BRUNA LISBOA GONÇALVES | FOTOFUNCIONALIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE FILMES POLIMÉRICOS PARA POSTERIOR DESENVOLVIMENTO DE SENSORES FLEXÍVEIS FLUORESCENTES | 517 |

| | | |
|---|---|---|
| NATHALIA SOUZA NASCIMENTO<br>RAIANE EMANUELLE LINO DE ASSUNÇÃO<br>JULIANO ROSA DE MENEZES VICENTI<br>FELIPE KESSLER | | |
| FERNANDA BALDUS<br>CRISTIELI FOLLADOR FARINA<br>EUNICE VALDUGA<br>PALOMA TRUCCOLO REATO<br>JULIANA STEFFENS<br>MARIA EDUARDA WLODARKIEVICZ<br>JÚLIA FACCIO DEMOLINER | DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA E CARACTERIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DE CALCÁRIO | 526 |
| GREICE MARIA OSTROWSKI<br>ADRIANA MARCIA GRABOSKI<br>SANDRA CRISTINA BALLEN<br>ALESSANDRO HENRIQUE DE LIMA<br>WELBER GIANINI QUIRINO<br>JULIANA STEFFENS<br>FLÁVIO MAKOTO SHIMIZU<br>NATÁLIA PAROUL<br>CLARICE STEFFENS | PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA DE SÍNTESES DE PANI / HCL E NANOCOMPÓSITOS DE PANI – GO / HCL | 536 |
| GREICE MARIA OSTROWSKI<br>ADRIANA MARCIA GRABOSKI<br>SANDRA CRISTINA BALLEN<br>ALESSANDRO HENRIQUE DE LIMA<br>WELBER GIANINI QUIRINO<br>JULIANA STEFFENS<br>FLÁVIO MAKOTO SHIMIZU<br>NATÁLIA PAROUL<br>CLARICE STEFFENS | FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO POR UV-VIS DE FILMES DE PANI/GO DEPOSITADOS PELA TÉCNICA DE LAYER-BY-LAYER | 543 |
| IEMEDELAIS BORDIN<br>JOÃO HENRIQUE ZIMNOCH DOS SANTOS<br>ROGÉRIO MARCOS DALLAGO<br>DIANA FINKLER<br>DIEGO IVAN PETKOWICZ<br>VICTOR DE AGUIAR PEDOTT<br>MARCELO LUÍS MIGNONI | SÍNTESE DE MATERIAIS MESOPOROSOS DO TIPO NB-MCM UTILIZANDO SÓLIDO IÔNICO COMO TEMPLATE COM APLICAÇÃO EM IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA | 550 |
| IGOR FROZZA<br>VICTOR DE AGUIAR PEDOTT<br>LEONARDO ZILL<br>EUNICE VALDUGA<br>JULIANA STEFFENS | DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA E CARACTERIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DO MALTE | 557 |
| LUCAS HENRIQUE DO NASCIMENTO<br>JANINE MARTINAZZO<br>ALEXANDRA NAVA BREZOLIN<br>CLARICE STEFFENS<br>JULIANA STEFFENS | FUNCIONALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOSSENSOR DE CANTILEVER UTILIZANDO POLIANILINA E ÓXIDO DE GRAFENO | 565 |
| LUCAS HENRIQUE DO NASCIMENTO<br>SANDRA CRISTINA BALLEN<br>ADRIANA MÁRCIA GRABOSKI<br>JANINE MARTINAZZO<br>JULIANA STEFFENS<br>CLARICE STEFFENS | CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE POLIANILINA DOPADOS COM ÁCIDO CANFORSULFÔNICO UTILIZANDO MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA | 571 |
| RAUL JOSE DOS SANTOS MICHEL JUNIOR<br>JESSICA DE MOURA LIMA<br>VITÓRIA S. PORTO<br>MARCIO A. MAZUTTI<br>JESSICA ANDRADE MICHEL | INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS TEMPERATURA E AGITAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO O FARELO DE ARROZ COMO MATÉRIA PRIMA | 577 |
| RICARDO JORGE MACIESKI<br>VICTOR DE AGUIAR PEDOTT<br>IEMEDELAIS BORDIN<br>DIEGO IVAN PETKOWICZ<br>DIANA FINKLER<br>JOÃO HENRIQUE ZIMNOCH DOS SANTOS | SÍNTESE DE MATERIAIS MESOPOROSOS DO TIPO MCM-48 UTILIZANDO CINZAS DE CASCAS DE ARROZ COMO FONTE ALTERNATIVA DE SILÍCIO | 583 |

MARCELO LUÍS MIGNONI
ROGÉRIO MARCOS DALLAGO

## EA-EQ-QI – Meio Ambiente e Tecnologia


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| FERNANDA DALLAZEN LAVRATTI<br>BRUNO MARANGONI<br>JULIA BACKES<br>LEONARDO MENEGON CIESLAK<br>SUELEN CRISTINA VANZETTO | TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO APLICÁVEIS A ÁREAS CONTAMINADAS POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS | 589 |
| GEDIEL ADRIANO KLEIN<br>CRIVIAN PELISSER<br>MARCELO HEMKEMEIER<br>LUCAS SOCCOL | TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO UTILIZANDO ELETROFLOCULAÇÃO | 593 |
| JULIANO VARELLA D´AVILA<br>MARCELO HEMKEMEIER<br>VIVIANE SIMON | ALTERNATING CURRENT IN ELECTROCOAGULATION OF DAIRY EFFLUENTS: A COMPARATIVE STUDY | 602 |
| KELI VECHIATO KEMPFER<br>ADONIS JOEL GEHLEN | TÉCNICAS EMPREGADAS PARA REMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS | 609 |
| LUANA CARINA KUHN<br>MAURÍCIO OLIVIECKI DE LIMA<br>VANESSA TIBOLA DA ROCHA | RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO SOBRE ERECHIM | 615 |
| LUCAS HAIDUKI<br>TANISE LUISA SAUSEN<br>JARDES BRAGAGNOLO<br>MAURÍCIO HENRIQUE BERTON | EFEITOS DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE FUNGICIDA SOBRE COMPONENTES DE RENDIMENTO DE CULTIVARES DE SOJA | 621 |
| MARCELO HEMKEMEIER<br>VIVIANE SIMON<br>VICTÓRIA DUTRA FAGUNDES | ELETROCOAGULAÇÃO COMO PRÉ-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO | 627 |
| MARCOS ANTÔNIO KERCHER<br>MARCELO HEMKEMEIIER | PET: EVOLUÇÃO HISTÓRICA, BENEFÍCIOS, IMPACTOS AMBIENTAIS E PROCESSOS DE RECICLAGEM | 634 |


## EA-EQ-QI – Processos Tecnológicos e Biotecnológicos


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| AMANDA SANTA CATARINA<br>KARINE ANGÉLICA DALLA COSTA<br>MARIA EDUARDA WLODARKIEVICZ<br>VICTOR DE AGUIAR PEDOTT<br>ROGÉRIO LUIS CANSIAN<br>ROGÉRIO DALLAGO<br>JAMILE ZENI<br>NATALIA PAROUL | EFEITO DA CONCENTRAÇÃO E ESTABILIDADE OPERACIONAL DE LIPASES COMERCIAIS DE CANDIDA ANTARCTICA NA SÍNTESE DE OLEATO DE ASCORBILA | 643 |
| AMITO JOSÉ TEIXEIRA<br>ANTONIO SERGIO DO AMARAL<br>PAULO SÉRGIO GOMES DA ROCHA<br>RICARDO FELIPE ZAMBIASI<br>JOHN EDSON CHIODI<br>JARDES BRAGAGNOLO | AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO QUANTITATIVO E QUALITATIVO DAS AVEIAS BRANCA E PRETA | 650 |
| AMITO JOSÉ TEIXEIRA<br>MAIQUEL GROMANN<br>PAULO SÉRGIO GOMES DA ROCHA<br>ANTONIO SERGIO DO AMARAL<br>JOHN EDSON CHIODI<br>JARDES BRAGAGNOLO | ADUBAÇÃO ORGÂNICA DA ALFAFA | 655 |
| ANGÉLICA INÊS KAUFMANN<br>RAFAELA DA ROSA SARTORETTO<br>DAYANE ALVES MORESCO<br>VILDES MARIA SCUSSEL | AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR FUMONISINAS DE PAMONHAS PRODUZIDAS E COMERCIALIZADAS NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS E PAULO LOPES | 660 |

| | | |
|---|---|---|
| ANGÉLICA INÊS KAUFMANN<br>WEBER DA SILVA ROBAZZA<br>LIANA RENATA CANONICA<br>ANA KAROLINA CHEROBIN | CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CALDO DE CANA DE AÇÚCAR (SACCHARUM OFFICINARUM) IN NATURA E DO CALDO DE CANA DE AÇÚCAR LIOFILIZADO | 669 |
| ANTONIO SERGIO DO AMARAL<br>ELIAS CARA ZEN<br>PAULO SERGIO GOMES DA ROCHA<br>AMITO JOSÉ TEIXEIRA<br>JARDES BRAGAGNOLO<br>JOHN EDSON CHIODI | EFEITO DO ALUMÍNIO TÓXICO NO SISTEMA RADICULAR DE PLÂNTULAS DE SOJA | 675 |
| BETHINA PASCUETTI TRES<br>ANDRESSA FRANCO DENTI<br>JULIA LISBOA BERNARDI<br>CAROLINA ELISA DEMAMAN ORO<br>BRUNA MARIA SAORIN PUTON<br>SÉRGIO HENRIQUE MOSELE<br>GECIANE TONIAZZO BACKES<br>ROGÉRIO M. DALLAGO | CINÉTICA DE SECAGEM DE AMORA-PRETA EM DIFERENTES TEMPERATURAS E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA | 681 |
| BETHINA PASCUETTI TRES<br>ANDRESSA FRANCO DENTI<br>JULIA LISBOA BERNARDI<br>CAROLINA ELISA DEMAMAN ORO<br>MARCELO L. MIGNONI<br>ROGÉRIO M. DALLAGO<br>LUCIANA D. VENQUIARUTO | QUANTIFICAÇÃO DE VITAMINA C EM SUCOS DE LARANJA COMERCIALIZADOS EM ERECHIM-RS | 687 |
| DANIELE BERGMEIER<br>JONATAN MAICON ANTÔNIO TONIN<br>JULIANA CARLA GIROTTO<br>MARLOVA BALKE<br>PRISCILLA PEREIRA DOS SANTOS | COLABORANDO COM CONHECIMENTOS REFERENTES AO PNAE E ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL NO ÂMBITO ESCOLAR | 693 |
| ELISANDRA RIGO<br>ANDRESSA DALILA BIANCHI<br>DARLENE CAVALHEIRO<br>STEFANI MALLMANN<br>ISADORA GAZONI | PRODUÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL DE REQUEIJÃO CREMOSO COM MASSA ÁCIDA CONGELADA: UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA PARA SAZONALIDADE DE PRODUÇÃO DO LEITE | 702 |
| ELISANDRA RIGO<br>PÂMELA CRISTINA LIMA<br>ISADORA GAZONI<br>ALEXANDRA DE CARVALHO<br>DARLENE CAVALHEIRO<br>DÉBORA DE OLIVEIRA | PARÂMETROS CINÉTICOS DE BIOCATALISADOR À BASE DE QUITOSANA ATIVADO COM GENIPINA | 708 |
| GABRIELA GIRELLI AMBROS<br>MATEUS FRANKLIN MARCHETTO<br>SERGIO HENRIQUE MOSELE<br>AMITO JOSÉ TEIXEIRA<br>ANTONIO SERGIO DO AMARAL<br>HUELITON JOSÉ STROGULSKI MAGNANTI<br>LUCAS ADONA<br>VINÍCIUS GUSTAVO LIRA BORSA<br>MAICON AUGUSTO LUSSANI<br>PAULO SÉRGIO GOMES DA ROCHA | CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE AVEIA PRETA SOB DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS COM LEDS | 715 |
| ILIZANDRA APARECIDA FERNANDES<br>VANESSA BARBIERI BOMBANA<br>AMANDA ELISABETE ZAMBON<br>ANDRESSA FRANCO DENTI<br>CAROLINA ELISA DEMAMAN ORO<br>CAROLINE CHIES POLINA<br>DIANE RIGO<br>YASMIM MIRYAN MACHADO | INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO TEOR DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA E POLPA DE GUABIJU (MYRCIANTHES PUNGENS (O. BERG) D. LEGRAND) | 721 |

| | | |
|---|---|---|
| GECIANE TONIAZZO BACKES<br>ROGÉRIO LUIS CANSIAN | | |
| JOSE LUIZ KIEDIS<br>KELI CRISTINA CANTELLI<br>CLARICE STEFFENS<br>JAMILE ZENI<br>CLAUDIO AUGUSTO ZAKRZEVSKI<br>MERCEDES CONCÓRDIA CARRÃO PANIZZI | DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA PRODUÇÃO DE BROTOS DE SOJA | 729 |
| JOSE LUIZ KIEDIS<br>SANDRA CRISTINA BALLEN<br>ALINE ANDRESSA RIGO<br>JULIANA STEFFENS<br>CLARICE STEFFENS<br>LUCELIA HAEHNE | DESENVOLVIMENTO DE NANOBIOSSENSOR ENZIMÁTICO PARA DETECÇÃO DE NÍQUEL EM ÁGUA | 735 |
| JOSIELI FÁTIMA VESOLOSKI<br>ARIEL MATEUS BANDIERA<br>MARILIA RODRIGUES DA SILVA | EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE SEMENTES NA CULTURA DA SOJA (GLYCINE MAX L.) | 741 |
| JOSIELI FÁTIMA VESOLOSKI<br>ARIEL MATEUS BANDIERA<br>PAULO SÉRGIO GOMES DA ROCHA | PRODUÇÃO DO TOMATE GRANDEUR E SUPREMO “R” SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CONDUÇÃO DE PLANTAS | 746 |
| LENIR FÁTIMA GOTZ<br>BRUNA LETÍCIA ANZOLIN<br>ALFREDO CASTAMANN<br>MATEUS DE MATTOS<br>PATRICIA PAULA KOSAK | DEJETO LÍQUIDO SUÍNO E PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA A ERVA-MATE | 751 |
| LENIR FÁTIMA GOTZ<br>FABIANO SILVESTRIN<br>VOLNEI PAULETTI<br>ANTÔNIO CARLOS VARGAS MOTTA<br>JESSICA LIMA VIANA | LIMITE ENTRE DEFICIÊNCIA E TOXIDEZ DE BORO NO CULTIVO DO MILHO | 757 |
| LEONARDO MEIRELLES DA SILVA<br>ROSICLER COLET<br>GABRIELA DE BASTOS<br>THAIS COMIN<br>MARÍLIA DEQUI VENDRUSCOLO<br>SIMONE SALETE SAGGIORATO DAL MASO<br>ROGÉRIO MARCOS DAL LAGO<br>JAMILE ZENI<br>GECIANE TONIAZZO BACKES | AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE BIOPRODUÇÃO DE FRUTOSILTRANSFERASE E B-FRUTOFURANOSIDASE POR ASPERGILLUS NIGER ATCC 9642 EM CULTIVO SUBMERSO | 763 |
| LEONARDO MEIRELLES DA SILVA<br>SIMONE SALETE SAGGIORATO DAL MASO<br>MARÍLIA DEQUI VENDRUSCOLO<br>THAIS COMIN<br>GABRIELA DE BASTOS<br>ROSICLER COLET<br>ROGÉRIO MARCOS DAL LAGO<br>JAMILE ZENI<br>GECIANE TONIAZZO BACKES | ESTUDO DA ESTABILIDADE DE INVERTASES PRODUZIDAS POR ASPERGILLUS NIGER ATCC 9642 EM CULTIVO SUBMERSO | 769 |
| LIANA RENATA CANONICA<br>ANDRÉIA ZILIO DINON | INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE (ZINGIBER OFFICINALE R.) NA QUALIDADE DO AZEITE DE OLIVA EXTRAVIRGEM | 775 |
| LIANA RENATA CANONICA<br>DAYANE ALVES MORESCO<br>ANGÉLICA INÊS KAUFMANN<br>RAFAELA DA ROSA SARTORETTO<br>MARÍLIA ASSUNTA SFREDO<br>MÔNICA LADY FIORESE | CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO SÓLIDO RESULTANTE DO PROCESSAMENTO DA FÉCULA DE MANDIOCA | 781 |
| MARIA EDUARDA WLODARKIEVICZ<br>PATRÍCIA FONSECA DUARTE<br>ILIZANDRA APARECIDA FERNANDES<br>LUCAS HENRIQUE DO NASCIMENTO | MICROPARTÍCULAS OBTIDAS POR SPRAY DRYING UTILIZANDO DIFERENTES MATERIAIS DE PAREDE E ÓLEO ESSENCIAL DE CITRONELA (CYMBOPOGON WINTERIANUS) | 788 |

| | | |
|---|---|---|
| ALEXANDER JUNGES<br>ROGÉRIO LUIS CANSIAN<br>NATALIA PAROUL | | |
| MARÍLIA JORDANA DEQUI VENDRUSCOLO<br>SIMONE SALETE SAGGIORATO DAL MASO<br>LEONARDO MEIRELLES DA SILVA<br>THAIS COMIN<br>GABRIELA DE BASTOS<br>ROSICLER COLET<br>ROGÉRIO MARCOS DAL LAGO<br>JAMILE ZENI<br>GECIANE TONIAZZO BACKES | CARACTERIZAÇÃO PARCIAL DE FRUTOSILTRANSFERASE E B-FRUTOFURANOSIDASE PRODUZIDAS POR ASPERGILLUS NIGER ATCC 9642 EM CULTIVO SUBMERSO | 794 |
| MARINA ANDREIA DE SOUZA<br>JULIA LISBOA BERNARDI<br>BRUNA MARIA SAORIN PUTON<br>MARIANE MINOZZO<br>NATALIA PAROUL<br>ROGÉRIO LUIS CANSIAN | EFEITO REPELENTE DO ÓLEO ESSENCIAL DE CINNAMOMUM CASSIA NO CONTROLE DE INSETOS EM GRÃOS ARMAZENADOS EM MINI SILOS | 800 |
| MARINA ANDREIA DE SOUZA<br>ROGÉRIO LUIS CANSIAN<br>NATALIA PAROUL<br>BRUNA MARIA SAORIN PUTON<br>MARIANE MINOZZO<br>NICOLE DEITOS<br>RAFAELA FRANÇA<br>ANDRESSA FRANCO DENTI<br>BETHINA PASCUETTI TRES<br>JULIA LISBOA BERNARDI | ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DO ÓLEO ESSENCIAL COMERCIAL DE CINNAMOMUM CASSIA E DO TRANS-CINAMALDEÍDO | 806 |
| MURILO JOÃO RAMOS<br>MURILO JOÃO RAMOS<br>LUCAS ADONA<br>VINÍCIUS GUSTAVO LIRA BORSA<br>PAULO SÉRGIO GOMES DA ROCHA<br>AMITO JOSÉ TEIXEIRA<br>GUILHERME HENRIQUE PARMIGIANI<br>MAICON AUGUSTO LUSSANI<br>ANTONIO SERGIO DO AMARAL<br>LUCAS LUIS BRUSCHI DEMOLINER<br>GABRIELA GIRELLI AMBROS | CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE RÚCULA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS | 812 |
| MURILO JOÃO RAMOS<br>MURILO JOÃO RAMOS<br>VINÍCIUS GUSTAVO LIRA BORSA<br>LUCAS ADONA<br>PAULO SÉRGIO GOMES DA ROCHA<br>AMITO JOSÉ TEIXEIRA<br>LUCAS LUIS BRUSCHI DEMOLINER<br>GUILHERME HENRIQUE PARMIGIANI<br>MAICON AUGUSTO LUSSANI<br>SERGIO HENRIQUE MOSELE<br>ANTONIO SERGIO DO AMARAL | CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE CEBOLINHA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS | 818 |
| PALOMA TRUCCOLO REATO<br>GUILHERME DE SOUZA HASSEMER<br>ROSICLER COLET<br>ALEXANDER JUNGES<br>EUNICE VALDUGA | DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS ESTEQUIOMÉTRICO PARA CULTURAS DE BACILLUS MEGATERIUM EM FRASCOS AGITADOS | 824 |
| PALOMA TRUCCOLO REATO<br>ROSICLER COLET<br>LUANA GAYESKI<br>LETÍCIA URNAU<br>CLARICE STEFENS<br>EUNICE VALDUGA | CINÉTICA DA BIOPRODUÇÃO DE CAROTENOIDES POR PHAFFIA RHODOZYME Y-17268 EM DIFERENTES PROCESSOS COM RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS | 831 |

| | | |
|---|---|---|
| RITIELI BAPTISTA MAMBRIN<br>EDIVANE FERRO<br>NARDIELE MACHADO FLORES<br>RENATO FORTUNATI<br>VANESSA BATTISTELA<br>LEANDRO PALUDO<br>RUBENS MENEGUZZI<br>LUCAS VANZ<br>SUSANA KLAJN<br>ROSE GROCHOT GAYESKI | SELEÇÃO DE FEIJÕES BIOFORTIFICADOS | 839 |
| ROBERTA CRISTINA DE SOUZA<br>LEONARDO MEIRELLES DA SILVA<br>KAUANE DE OLIVEIRA<br>JAMILE ZENI<br>EUNICE VALDUGA<br>ELOANE MALVESSI | IMOBILIZAÇÃO DE ZYMOMONAS MOBILIS E COMPLEXO ENZIMÁTICO GLICOSE-FRUTOSE OXIDORREDUTASE/GLUCONO-Δ-LACTONASE POR CONTATO EM ESPUMA DE POLIURETANO FLEXÍVEL | 846 |
| ROBERTA CRISTINA DE SOUZA<br>SANDRA PALAVICINI<br>JÚLIA LISBOA BERNARDI<br>MORGANA DE MARCO<br>ROGÉRIO LUIS CANSIAN<br>CLARICE STEFFENS | ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE EXTRATOS DE SEMENTE DE TANSAGEM (PLANTAGO MAJOR E PLANTAGO TOMENTOSA) | 853 |
| ROSICLER COLET<br>DIANE RIGO<br>ILIZANDRA APARECIDA FERNANDES<br>PAULO NATAN ALVES DOS SANTOS<br>JAMILE ZENI<br>ROGÉRIO DALLAGO<br>ALINI TINOCO FRICKS | IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA EM PALITO DE ERVA MATE (ILEX PARAGUARIENSIS ST. HIL) UTILIZANDO DIFERENTES SOLVENTES | 860 |
| ROSICLER COLET<br>RONEI DARIVA<br>ALEXANDRA MANZOLI<br>ILIZANDRA APARECIDA FERNANDES<br>GECIANE TONIAZZO BACKES<br>EUNICE VALDUGA | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE PÃES DE QUEIJO COM AMIDOS NATIVOS E MODIFICADOS EM ESCALA INDUSTRIAL | 866 |
| THAIS FEIDEN<br>MARINA ANDREIA DE SOUZA<br>CAROLINE CHIES POLINA<br>JAMILE ZENI<br>EUNICE VALDUGA | ELABORAÇÃO DE IOGURTE GREGO DESNATADO COM ADIÇÃO DE BAGAÇO DE UVA | 874 |
| THAIS FEIDEN<br>MARINA ANDREIA DE SOUZA<br>THAIS COMIN<br>CAROLINE CHIES POLINA<br>SABRINA CAMARGO<br>CAROLINA ELISA DEMAMAN ORO<br>EUNICE VALDUGA | APLICAÇÃO DO TRATAMENTO ENZIMÁTICO NA CLARIFICAÇÃO DE SUCO DA AMORA CHEROKEE | 880 |


## Engenharia de Produção (EP)

### EP – Engenharia Econômica e Custos


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| KELI VECHIATO KEMPFER<br>RENAN SCAPINELLO | ANÁLISE ECONÔMICA DE UM EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL: COMPARAÇÃO ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO | 887 |


### EP – Ergonomia e Segurança do Trabalho


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| GABRIEL LUIS SALCHER<br>ROBERTA FÁTIMA NEUMEISTER | AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DO PROJETO URI BAJA TEAM 2019 | 896 |

| | | |
|---|---|---|
| LARISSA TRESSI<br>RODRIGO KREMPASKI RIBEIRO<br>VINÍCIUS KAMINSKI DE SOUZA<br>JOSÉ LUIS "NINO" DALLA COSTA<br>BRUNO FELIPE ASSONI FALEIRO<br>EDENIR "CHITA" SERAFINI | EDUCAÇÃO OLÍMPICA E ATLETISMO: FERRAMENTAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM VISANDO O DESENVOLVIMENTO DA COORDENAÇÃO MOTORA DE ESTUDANTES | 907 |

### EP – Gestão da Inovação e Empreendedorismo

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| ALCIMARA CARDOSO<br>VANIA GOELLNER DO SANTOS FANTE | O EMPODERAMENTO DO CORPO GORDO ATRAVÉS DAS DICAS E IDEIAS DE MODA DE UMA INFLUENCER GORDA. | 918 |

### EP – Gestão da Manutenção e da Qualidade

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| ANDERSON CAVALHEIRO ANTONIETTI<br>DIRCEU JESUS LIMA DA SILVA<br>MÁRCIO WALBER | PROCESSO PRODUTIVO FOCADO NA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE | 924 |
| DAIANE WASKIEVIC<br>DÉBORA BRUNHERA<br>JONATAN FERREIRA<br>MORGANA PAULA ZANGRANDE | ESTUDO DE CASO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM TRÊS EDIFICAÇÕES DISTINTAS | 931 |
| RAUL JOSE DOS SANTOS MICHEL JUNIOR<br>JESSICA ANDRADE MICHEL | PROBLEMAS RELACIONADOS A CONSERVAÇÃO EM ALAMBIQUES NA PRODUÇÃO ARTESANAL DE CACHAÇA | 939 |

### EP – Gestão de Projetos, Produtos e Serviços

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| ALESSANDRA TAIS DA COSTA<br>TAINARA VOLAN<br>CRISTIAN FERNANDO OECKSLER<br>CAROLINE RODRIGUES VAZ<br>MAURICIO URIONA-MALDONADO | CARRO ELÉTRICO – UMA ANÁLISE DA VISÃO DO CONSUMIDOR | 946 |
| CAMILA SAMPAIO DOS REIS<br>SUÉLEN BAMPI<br>MARCOS ISMAEL SCHULTZ | PLATAFORMA WEB PARA MONITORAMENTO REMOTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE. | 953 |
| MICHELI VIEIRA REIS<br>NATÁLIE PACHECO OLIVEIRA | A CULTURA NERD E O CRESCIMENTO DA MODA GEEK NO BRASIL | 960 |
| RAFAELA MOCFA SPICA<br>JESSIE CARVALHO BRUHN | PROPOSTA DE PLANO DE GESTÃO A NÍVEL DE GRADUAÇÃO (PGENG) PARA O CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES - CÂMPUS DE ERECHIM | 967 |

### EP – Gestão de Sistemas de Produção e Operações

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| CARLOS ALEXANDRE PRECZEVSKI | PROPOSTA DE MELHORIA NA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE BALANÇAS PARA GADO EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA DO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL POR MEIO DO MFV E PROJETO KAIZEN | 974 |
| FELIPE MAZUTTI<br>WU XIAO BING<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA FÁBRICA DE RAÇÕES | 980 |
| RENAN CARLOS FASSICOLO<br>JESSIE CARVALHO BRUHN | PROPOSTA DE APPCC EM UMA LINHA DE RAÇÃO PELETIZADA PARA FRANGOS | 990 |

### EP – Projeto de Fábrica | Instalações Industriais

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| ANDERSON DE SOUZA<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE EQUIPAMENTO PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA MONTAGEM DE IMPLEMENTOS FLORESTAIS | 997 |

## Engenharia Elétrica (EE)

### EE – Automação e Controle

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| LEANDRO AGOSTINI<br>CÁSSIO LUCIANO BARATIERI | CONTROLE APLICADO A UM PÊNDULO SIMPLES INVERTIDO | 1005 |
| LEONARDO SALVI<br>CÁSSIO LUCIANO BARATIERI | AVALIAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CONTROLE ESCALAR PARA O MOTOR BLDC E O MOTOR DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL COMUTADO APLICADOS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS | 1012 |
| SUÉLEN BAMPI<br>CÁSSIO LUCIANO BARATIERI | ANÁLISE COMPARATIVA DE CONTROLADORES AO CONTROLE VETORIAL DO MOTOR SÍNCRONO DE ÍMÃ PERMANENTE PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS | 1021 |
| SUÉLEN BAMPI<br>CÁSSIO LUCIANO BARATIERI | CONTROLE DIGITAL DE POSIÇÃO PARA MOTORES CC APLICADOS A SERVOMECANISMOS ROTACIONAIS DE BAIXA VELOCIDADE | 1029 |

### EE – Processamento de Energia Elétrica

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| CRISTIANO FACCO<br>FABRÍCIO HOFF DUPONT<br>GLEYSON LUIZ PIAZZA | MODULAÇÃO PWM SENOIDAL – SPWM DE DOIS NÍVEIS PARA ACIONAMENTO DE CONVERSOR CC-CA MONOFÁSICO HALF-BRIDGE E FULL-BRIDGE | 1040 |
| CRISTIANO FACCO<br>FABRÍCIO HOFF DUPONT<br>TAILOR OLIVEIRA<br>GLEYSON LUIZ PIAZZA | DEDUÇÃO DE FILTRO LC PARA CONVERSORES CC-CA MONOFÁSICO HALF BRIDGE | 1046 |
| LUCAS ENGEL<br>ADILSON LUÍS STANKIEWICZ | PROJETO E ANÁLISE DE UM CONVERSOR CC-CC BUCK-BOOST COM APLICAÇÃO DE MÉTODO DE RASTREAMENTO DE MÁXIMA POTÊNCIA | 1055 |
| OSMAR FRANCISCO ZAPAROLI JUNIOR<br>FERNANDO LUIS TARTARI PERES | ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE INJETADOS EM UMA INDÚSTRIA DE MATERIAIS PARA ESCRITÓRIO. | 1063 |
| RICARDO ANDRÉ KISTEMACHER<br>CÁSSIO LUCIANO BARATIERI<br>ADILSON LUÍS STANKIEWICZ | ESTUDO DE UM SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE ENERGIA BASEADO EM CONVERSORES ESTÁTICOS CC/CC. | 1073 |

### EE – Sistemas Elétricos de Potência

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| AFONSO CARLOS HINKEL JÚNIOR<br>ADILSON LUÍS STANKIEWICZ | ANÁLISE DO CONVERSOR BOOST PFC DE BAIXO CUSTO PARA USO EM INSTALAÇÕES RURAIS | 1082 |
| ALVARO BAMPI<br>MARIANA RESENER | ANÁLISE TÉCNICA DAS SOBRETENSÕES RESULTANTES DE FALTAS MONOFASICAS EM SISTEMAS SUPRIDOS POR GDS OPERANDO ISOLADAMENTE | 1091 |
| ALVARO BAMPI<br>SERGIO BORDIGNON | ANÁLISE DE CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA DE BAIXA TENSÃO | 1100 |
| PEDRO VIEIRA MARTINELLI<br>MÁRCIO WALBER<br>LUCAS DALLA MARIA<br>CHARLES LEONARDO ISRAEL | ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VIBRAÇÃO HARMONICA FORÇADA EM UM SECCIONADOR BMKU-40A | 1108 |

### EE – Sistemas Eletroeletrônicos Aplicados

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| GILBERTO SILVINO RAMOS CHRIST<br>ADILSON LUÍS STANKIEWICZ | ESTUDO DE UM CONVERSOR CC-CC BOOST-FLYBACK PARA SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA COM MPPT | 1118 |
| LIEGE DA SILVEIRA OLIVEIRA<br>SAMUEL COLERAUS PALUDO<br>EDSON SANTOS ACCO | PROJETO DE UM SISTEMA VISUAL DE PROXIMIDADE | 1128 |
| LUÍS AUGUSTO DEBASTIANI<br>VÍTOR ANTÔNIO MORGAN<br>CAMILA SAMPAIO DOS REIS | ANÁLISE DO PROCESSAMENTO DE DADOS EM UM SISTEMA DIGITAL APLICADO A UMA CALCULADORA COM PORTAS LÓGICAS | 1135 |


## Engenharia Mecânica (EM)

### EM – Engenharia do Produto

| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| BERNARDO PARIZOTTO PASETTI<br>CARLOS EDMUNDO DE ABREU E LIMA IPAR<br>MÁRCIO WALBER | PROJETO DE UM GUINCHO MECÂNICO PARA O UTILITÁRIO JEEP UNIVERSAL | 1143 |
| BRUNO POZER<br>MÁRCIO WALBER<br>GUILHERME RESCHKE DO NASCIMENTO | DESENVOLVIMENTO DE UM AUXILIAR DE MARCHA PARA CRIANÇAS COM DIFICULDADES LOCOMOTIVAS | 1153 |
| CRISTIAN BICIGO<br>MARCELO HENRIQUE DA SILVA<br>MÁRCIO WALBER | ANÁLISE DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM PILOTO DE VEÍCULO BAJA SAE | 1167 |
| DANIEL JUCHEM HECK<br>MÁRCIO WALBER<br>NATAN BARBIZAN | NOVO CONCEITO DE PORTINHOLA PARA ÔNIBUS COM UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURA SANDUICHE | 1177 |
| EDUARDO GABRIEL TALAMINI<br>GUSTAVO FRAGA STRECK<br>MARCIO WALBER | PROJETO DE CARRETA ARROZEIRA COM SISTEMA DE TRANSMISSÃO HIDROSTÁTICA | 1184 |
| FILIPE JOSÉ FERNANDES GUALBERTO DE ARAÚJO<br>RICARDO BONATTO<br>MÁRCIO WALBER | PROJETO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO PARA UMA EMPRESA DE PEDRAS PRECIOSAS | 1191 |
| GIANCARLO STEFANI SCHLEDER<br>GIANCARLO STEFANI SCHLEDER<br>MÁRCIO WALBER<br>CHARLES LEONARDO ISRAEL | DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE EQUIPAMENTO PARA PICAR E MOER OSSO BOVINO. | 1197 |
| IGOR ENDERLE LODI<br>MÁRCIO WALBER<br>FABRÍCIO VIANNA | DESENVOLVIMENTO DE UM ADAPTADOR PARA MONTAGEM DE ACESSÓRIOS FRONTAIS EM UM TRATOR AGRÍCOLA | 1203 |
| JONAS RAFAEL REITER<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE UM SISTEMA DE DESCOMPACTAÇÃO DE CALCÁRIO EM UMA MÁQUINA DE DISTRIBUIÇÃO POR GRAVIDADE | 1212 |
| JULIANO PERIN<br>MÁRCIO WALBER | ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PERDAS DE CARGA NA VARIABILIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES DE AVEIA EM SEMEADORA PNEUMÁTICA | 1218 |
| LEONARDO FIORENTIN<br>DIRCEU JESUS LIMA DA SILVA<br>MÁRCIO WALBER | DIMENSIONAMENTO DE UMA MONOVIA PARA TROLE EM SILOS ARMAZENADORES DE GRÃOS | 1227 |
| MARCIO HOWE<br>AGENOR DIAS DE MEIRA JUNIOR<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO DE UMA ABASTECEDORA DE FERTILIZANTES DE ALTA VAZÃO | 1237 |
| RUBENS MENEGUZZI<br>ANDRÉ CARLOS GROTTO<br>RITIELI BAPTISTA MAMBRIN<br>LEANDRO PALUDO<br>JULIANA TRICHES BOSCARDIN<br>WESLEY CHIMENTO<br>SUSANA KLAJN<br>ROSE GROCHOT GAYESKI<br>ADEMILSON SETTI | PROJETO MECÂNICO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE DO PRODUTO ORIUNDO DA COLHEITA PARA PENEIRAS DE COLHEDORAS | 1243 |


## EM – Engenharia e Tecnologias de Materiais


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| ALEN JUNIOR TIBOLA<br>AMAURI GOMES DE MORAES<br>MÁRCIO WALBER | ANÁLISE DE FALHAS DE UM AÇO ABNT 1060 UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE LÂMINAS DE CORTE DE COLHEDORAS | 1254 |

| | | |
|---|---|---|
| ANDERSOM ERTHAL KERNER<br>MÁRCIO WALBER<br>WILLIAM HAUPT | CARACTERIZAÇÃO DE FASES PRECIPITADAS NO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S 31803 ENVELHECIDO A 750 °C | 1264 |
| EMANOEL HENRIQUE FRITZEN<br>MÁRCIO WALBER<br>RAFAEL KOPPE | ANÁLISE DE DESEMPENHO DE POLÍMEROS PARA A CONSTRUÇÃO DE BLOCOS HIDRÁULICOS DE BAIXA PRESSÃO | 1272 |
| GERMANO LASCH<br>MÁRCIO WALBER<br>DAVID LUIS TEJEDOR DIEGO | ESTUDO DAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA FIBRA DE CARBONO COM APLICAÇÃO EM VEÍCULOS DO TIPO BAJA | 1280 |
| GIANCARLO STEFANI SCHLEDER<br>GILIARDE ALVES<br>MARCOS ANTONIO KERCHER<br>JONAS RAFAEL REITER<br>CHARLES LEONARDO ISRAEL<br>WILLIAN HAUPT<br>DIEGO TOLOTTI DE ALMEIDA<br>LUIZ EDUARDO DA SILVA | INFLUÊNCIA DO CORTE LASER EM AÇOS 22MNB5 ENDURECIDOS | 1286 |
| GUILHERME BRAZACA<br>CHARLES LEONARDO ISRAEL<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO E ANÁLISE COMPARATIVA DE DESGASTE ABRASIVO DE PONTEIRAS SULCADORAS | 1293 |
| JONAS RAFAEL REITER<br>MARCOS ANTONIO KERCHER<br>GIANCARLO STEFANI SCHLEDER<br>GILIARDE ALVES<br>CHARLES ISRAEL<br>WILLIAN HAUPT<br>LUIZ EDUARDO DA SILVA<br>DIEGO TOLOTTI DE ALMEIDA | ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS EM DIFERENTES POTÊNCIAS DE CORTE A LASER DO AÇO 22MGB5+NBMO | 1300 |
| LEONARDO TOMASI ENDERLE<br>AMAURI GOMES DE MORAES<br>MÁRCIO WALBER | ANÁLISE DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA OBTIDA POR CORTE A LASER EM UM AÇO STRENX 700 | 1306 |
| LUCAS DAMBROS<br>LEANDRO DE FREITAS SPINELLI<br>MÁRCIO WALBER | CORROSÃO POR POLARIZAÇÃO CÍCLICA PARA OS AÇOS AISI 304 E AISI 420 EM SUPERFÍCIE POLIDA E JATEADA | 1316 |
| NORBERTO LUÍS SEGATO<br>WILLIAN HAUPT<br>LEANDRO DE FREITAS SPINELLI<br>VOLMIR SUPPTITZ<br>MÁRCIO WALBER | RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTOS DE AÇO GALVANIZADO SOLDADOS PELO PROCESSO DE SOLDAGEM PONTO RSW | 1326 |
| RENATA RECH DE SOUZA<br>LUCAS MARMENTINI<br>GUILHERME VIEIRA BRAGA LEMOS<br>ARTHUR BORTOLIN BESKOW<br>DIÓGENES DAL MAGRO | AVALIAÇÃO DA CORROSÃO EM AMOSTRAS DE AÇO SAE 4340 SUBMETIDAS A DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS | 1336 |


## EM – Engenharia Térmica e de Escoamentos


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| ALEXANDRE PEREIRA DALL´OGLIO<br>HENRIQUE PAN<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA AJUSTE DE ASA TRASEIRA MÓVEL EM VEÍCULOS DE COMPETIÇÃO | 1343 |
| ANA CAROLINA KIRCHER LIMA MARCON<br>CRISTIANO VITORINO DA SILVA<br>RAUL VANZ<br>PAULO RODOLFO BUFFON ORTIZ<br>PAULO SMITH SCHNEIDER | AVALIAÇÃO COMPORTAMENTAL DE TROCADORES DE CALOR VIA SIMULAÇÃO NUMÉRICA OBSERVANDO O EFEITO DA RADIAÇÃO TÉRMICA NO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR | 1353 |
| BRUNO BONAFÉ FOGOLARI<br>RUBENS STUGINSKI JUNIOR<br>MÁRCIO WALBER | AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESCOAMENTO EM TÚNEIS DE VENTO SUBSÔNICOS | 1359 |

| | | |
|---|---|---|
| CAMILE DOLZAN MACHADO<br>RUBENS STUGINSKI JUNIOR<br>MARCIO WALBER | ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UMA AERONAVE RADIOCONTROLADA BASEADA NO DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE | 1366 |
| DANIEL DORNELLES PETER<br>LUIS EDSON SARAIVA | DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE TROCADOR DE CALOR DE DUPLO TUBO | 1376 |
| DIÓGENES DAL MAGRO<br>ROBERTA FÁTIMA NEUMEISTER<br>RENATA RECH DE SOUZA | ANÁLISE NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE DISPOSITIVOS DE PONTA DE ASA EM UM PERFIL AERODINÂMICO NACA 23015 | 1386 |
| FABRICIO FRANZEN<br>MARCO ANTONIO SAMPAIO FERRAZ DE SOUZA | DETERMINAÇÃO DE UMA CAMADA-LIMITE PERTURBADA POR UMA RUGA UTILIZANDO SIMULAÇÃO NUMÉRICA | 1395 |
| FERNANDO ZAFFARI CARMO<br>LUÍS EDSON SARAIVA<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR DO TIPO INTERCOOLER PARA UM MOTOR SOBREALIMENTADO DE CICLO OTTO | 1404 |
| GHABRIEL MOCCELLIN ANNES<br>RUBENS STUGINSKI JR<br>MÁRCIO WALBER | ESTUDO E ANÁLISE AERODINÂMICA DO ESCOAMENTO DE AR ENTORNO DE CAMINHÕES COM CARROCERIA FECHADA | 1410 |
| GUILHERME KAPPAUN<br>LUIS EDSON SARAIVA<br>MÁRCIO WALBER | DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULOS DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE GASES PERFEITOS E MISTURA DE GASES PERFEITOS | 1420 |
| GUSTAVO VIGNOCHI<br>LUÍS EDSON SARAIVA<br>MÁRCIO WALBER | PROJETO TÉRMICO DE UM EQUIPAMENTO PARA FABRICAÇÃO DE GELO TUBULAR | 1428 |
| LEONARDO BOFF BREITENBACH<br>MARCO ANTONIO SAMPAIO FERRAZ DE SOUZA | ESTUDO NUMÉRICO DO ESCOAMENTO BIDIMENSIONAL SOBRE O AEROFÓLIO NACA 0012 UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS DE TURBULÊNCIA | 1439 |
| LEONARDO BOFF BREITENBACH<br>MARCO ANTONIO SAMPAIO FERRAZ DE SOUZA | SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO E DESEMPENHO AERODINÂMICO DO AEROFÓLIO NASA SC (2) - 0714 EM CONDIÇÕES CRIOGÊNICAS | 1449 |
| LUCAS LANGARO<br>RUBENS STUGINSKI JR.<br>MARCIO WALBER | PROJETO E ANÁLISE DE UMA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI | 1458 |
| LUCAS MARMENTINI<br>DIÓGENES DAL MAGRO<br>RENATA RECH DE SOUZA<br>MARCO ANTONIO SAMPAIO FERRAZ DE SOUZA | DIMENSIONAMENTO DE UM ROTOR CENTRÍFUGO COM BASE NO MÉTODO DE ARCHIBALD MACINTYRE | 1468 |
| RENATA RECH DE SOUZA<br>CRISTIANO VITORINO DA SILVA<br>MARIA LUIZA SPERB INDRUSIAK<br>LARA WERNCKE VIEIRA | ANÁLISE EM CFD DE UM LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE FRIO: EFEITO DA ALTURA DO LEITO E DO FLUXO DE AR | 1474 |


## EM – Processos de Fabricação


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| GUILHERME REGNER NAVA<br>LEANDRO DÓRO TAGLIARI<br>MÁRCIO WALBER | AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE AÇOS DE BAIXO CARBONO E ALTA RESISTÊNCIA NA FURAÇÃO POR ESCOAMENTO COM DIFERENTES CONDIÇÕES E PARÂMETROS DE TRABALHO | 1481 |
| JULIANO VARELLA D´AVILA<br>MÁRCIO WALBER<br>JOCARLY PATROCÍNIO DE SOUZA | DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE DISPLAY BRAILLE DE BAIXO CUSTO | 1491 |


## EM – Projetos e Estruturas


| Autores | Título | Página |
|---|---|---|
| EDUARDO SCHAEFER<br>FÁBIO GOEDEL<br>MÁRCIO WALBER | ANÁLISE NUMÉRICA DE UM ENGATE PARA REBOQUE SUBMETIDO A CARREGAMENTO ESTÁTICO. | 1499 |

| | | |
|---|---|---|
| FABIANO BETINELI TREMARIN<br>MÁRCIO WALBER<br>DIRCEU JESUS LIMA DA SILVA | PROJETO DE UM SISTEMA PARA TRANSPORTE DE CAIXA DE AVES VIVAS | 1508 |
| FELIPE CASTELLI SASSO<br>FERNANDO BUSATO RAMIRES<br>ZACARIAS MARTIN CHAMBERLAIN PRAVIA | APLICATIVO ANDROID PARA O DIMENSIONAMENTO DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO DE ACORDO COM A ABNT NBR 14762:2010 | 1518 |
| GUILHERME PEDRO SOUSA<br>MÁRCIO WALBER<br>RICARDO ANESI | PROJETO DO CONCEITO DE UMA BRUNIDORA VERTICAL | 1526 |
| GUILHERME REGNER NAVA<br>RAFAEL FRANCIOZI PRIZOTTO<br>LEANDRO DÓRO TAGLIARI<br>MÁRCIO WALBER | PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE HIDRÁULICA PARA TESTE DE BOMBAS DE ENGRENAGEM E CILÍNDROS HIDRÁULICOS | 1532 |
| JOSIEL SILVESTRI RUGGINI<br>DARLEI MEZZOMO<br>JOSÉ ANTÔNIO PORTELLA<br>MARCIO WALBER | MACACO HIDRÁULICO PARA ELEVAÇÃO E TRANSPORTE DE PNEUS | 1542 |
| JOSIEL SILVESTRI RUGGINI<br>MÁRCIO WALBER<br>DARLEI MEZZOMO | CONCEITO DE DISPOSITIVO ROTACIONAL PARA MONTAGEM E SOLDAGEM DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS | 1552 |
| RUBENS MENEGUZZI<br>WESLEY CHIMENTO<br>RICARDO FABEANE<br>JULIANA TRICHES BOSCARDIN<br>LEANDRO PALUDO<br>SUSANA KLANJ<br>ROSE GROCHOT GAYESKI | RELAÇÕES DIMENSIONAIS ÓTIMAS DE PERFIS U E U ENRIJECIDOS FORMADOS A FRIO SOB COMPRESSÃO AXIAL | 1558 |

CONIGTI

# Arquitetura:
# Conforto Ambiental e Eficiência Energética

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS COM DIFERENTES PERCENTUAIS DE METANO: UMA PROPOSTA PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E TÉRMICA

**Ricardo Dalpaz**
**Odorico Konrad**
Universidade do Vale do Taquari - Univates
ricardo.dalpaz@universo.univates.br,
okonrad@univates.br

***Resumo:*** *A energia figura entre as demandas mais importantes para a sustentação e o desenvolvimento de atividades produtivas e da sociedade como um todo. O biogás é uma energia de origem renovável com grande potencial de produção e aproveitamento, podendo absorver uma parcela significativa das demandas energéticas mundiais, com possibilidades de sua utilização para: produção de eletricidade, aquecimento ou como combustível veicular. Além disso, o aproveitamento energético do biogás colabora para a redução nas emissões de gases efeito estufa, deixando de ser passivo ambiental para um ativo ambiental, social e econômico. Diante desse contexto, este trabalho apresenta a proposta desenvolvida por um mestrando do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas Ambientais Sustentáveis da Universidade do Vale do Taquari que teve como objetivo avaliar o desempenho do biogás produzido em uma planta piloto, com diferentes percentuais de metano em sua composição, utilizado na cogeração de energia. Este estudo foi constituído de uma pesquisa experimental com abordagem quantitativa e descritiva, envolvendo levantamento de dados de forma transversal. Procurou-se identificar se os gastos energéticos despendidos com o processo de purificação compensam a eficiência energética obtida a partir da conversão do biogás em energia térmica e elétrica.*

***Palavras chave:*** *energia renovável, biomassa, biogás, metano, cogeração.*

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade está associado basicamente à demanda de energia. O homem a utiliza desde suas necessidades primárias para sobrevivência, até para sua comodidade de conforto social e bem estar. Na economia das nações, o petróleo, que até os anos 80 destacava-se como abundante, hoje é debatido por seu esgotamento e respectivo poder ambientalmente nocivo, sendo protagonista desses fatores pela sua majoritária contribuição na matriz energética. Souza (2006) destaca que o petróleo já havia dado sinais de instabilidade comercial nos anos 70, com uma crise que fez despertar o mundo todo para a busca de outras possibilidades em fontes de energia.

O $CH_4$ existente no biogás é na faixa de 21 vezes mais prejudicial que o $CO_2$, sendo esses os maiores concentradores de gases de efeito estufa, em consequência da disposição de resíduos orgânicos. Desse modo, conforme Canever (2017), existe a possibilidade de aproveitamento energético desse biogás, aliando contribuição ambiental com geração de energia elétrica renovável.

Genovese et al. (2006) evidenciam o abundante avanço do potencial da biomassa, sendo um recurso renovável derivado de qualquer matéria orgânica e que, pelo aspecto energético, surge como possibilidade de utilização como fonte de energia. Essa biomassa pode ser residual de efluentes nas produções rurais, agroindustriais e urbanas, sendo obtida de restos de colheitas, efluentes domésticos e industriais, bem como esterco animal. Utilizando o método de fermentação anaeróbica no tratamento desses resíduos, Pecora (2006) descreve que, além de tudo, está sendo possível agregar valor a um produto energético – no caso, o biogás –, obtendo o biofertilizante e colaborando para uma maior agilidade de recuperação dos investimentos na tecnologia instalada.

Konrad et al. (2016), apresentam alguns exemplos de onde é possível aproveitar esse biogás: na queima diretamente em aquecedores, fogões e caldeiras, a produção de energia elétrica e térmica por meio de motogeradores ou turbinas a vapor e, ainda, a possibilidade de utilização como combustível veicular após um tratamento de purificação e retirada de impurezas.

É nesse contexto que se insere esta pesquisa, cuja proposta foi realizar uma análise técnica da eficiência do aproveitamento energético do biogás, utilizado para a produção de energia térmica e elétrica (cogeração) na planta

piloto de biogás do Centro de Estudos de Biogás e Energias Renováveis (CEBER) do Parque Científico e Tecnológico da UNIVATES (TECNOVATES).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento dos seres humanos está fortemente ligado à utilização de energia. Desde a antiguidade, quando a humanidade já estava preocupada em gerar recursos que minimizassem suas dificuldades e viessem a melhorar seu conforto, ao compreender a artimanha do fogo, aprimorou sua alimentação, iluminação e segurança. Apoiou-se no potencial das águas e do vento. Até que um acontecimento histórico, segundo Morais (2015), aperfeiçoou o desenvolvimento da energia: a criação da máquina a vapor.

A Revolução Industrial e o aumento populacional ocasionaram um avanço no consumo de energia, estabelecendo drasticamente o uso e importância da energia para os tempos modernos que se iniciavam. Na metade do século XIX, conforme Morais (2015), o aumento no consumo de novas fontes de energia consagradas, como petróleo e eletricidade, foi responsável pelo salto no desenvolvimento da humanidade, chegando até os dias de hoje e disponibilizando de todo um conforto. Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007, p. 47) destacam:

> Desde a Revolução Industrial, a competitividade econômica dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia. Em um mercado global e em face das crescentes preocupações com o meio ambiente, essa influência se mostra cada vez mais decisiva. Nesse contexto, as economias que melhor se posicionam quanto ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obtêm importantes vantagens comparativas. Nas próximas décadas, essa questão se apresenta para o Brasil a um só tempo como um desafio e uma oportunidade. Desafio, porque o desenvolvimento econômico e social demandará uma expressiva quantidade de energia e com isso um alto grau de segurança e de sustentabilidade energéticas. Oportunidade, porque o Brasil dispõe de condições especialíssimas de recursos energéticos renováveis e de tecnologia para transformar suas riquezas naturais em energia e dessa forma agregar valor à sua produção de riqueza.

Dentro desse contexto global – e de forma predominante –, o sustento energético é oriundo dos recursos não renováveis, ou seja, originários das fontes fósseis. Ventura Filho (2009) destaca que a queima desses combustíveis é um dos potenciais produtores de $CO_2$, um dos gases causadores do "efeito estufa", provocando também alterações climáticas da Terra. Já Souza (2015) salienta que, não bastando só os gases poluidores, ainda é possível mencionar os vazamentos nas plataformas *offshore*, que significam imenso dano ambiental na fauna marinha e para as aves que necessitam desse meio para sua sobrevivência. Em um período de aproximadamente 27 anos, a matriz energética não apresentou transformações significativas em suas utilizações.

Conforme Ventura Filho (2009), com forte origem nas fontes fósseis, o carvão mineral no século XIX, o gás natural e o petróleo no século XX resultam em uma parcela de apenas 14% de fontes energéticas renováveis no fornecimento das demandas mundiais de energias. Simioni (2006, p. 28) corrobora, destacando que:

> Pensar em novas fontes de energia a partir de referenciais socioambientais significa, principalmente, pensar em evitar riscos de autodestruição e em obter-se vantagens socioambientais, mais do que vantagens econômicas. Significa também transformações na estrutura econômica, de forma semelhante com o que ocorreu em outros momentos da história, como no início da era do petróleo. Nossa conclusão é de que é possível reestruturar o setor de energia a partir de outros elementos, outros referenciais que não a lógica econômica, porém, isto exigirá posturas mais aguerridas, "subversivas" e corajosas.

No decorrer da evolução tecnológica e com o desenvolvimento do estilo de vida da sociedade, ocorreu uma intervenção junto à conduta da matriz energética. Ventura Filho (2009) afirma que, uma vez percebido o esgotamento considerado na perspectiva futura das fontes fósseis de energia, uma estratégia viável é o aproveitamento expressivo das fontes alternativas para o suprimento das demandas energéticas. Corroborando com tal ideia, Tavares (2012) destaca que, junto desse âmbito de preocupação com a segurança da matriz energética e mudanças climáticas, é essencial a introdução cada vez maior de fontes renováveis de energia, pois promovem segurança na matriz energética e enquadram-se com um dos principais dispositivos no combate às mudanças climáticas decorrentes da elevação dos gases de efeito estufa na atmosfera.

As fontes de energias renováveis vão além dos benefícios de redução de efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde. Se implantadas corretamente, têm papel fundamental no desenvolvimento social e econômico das nações (CNI, 2007). Surgindo, então, como alternativas ou como complemento às convencionais, as fontes energéticas renováveis podem ser de diferentes origens. Esta pesquisa, no entanto, dá maior ênfase à energia extraída a partir das biomassas.

Diante do panorama exposto anteriormente, percebe-se a necessidade de remodelar a matriz energética mundial e nacional, aumentando o uso das biomassas e diminuindo a utilização de combustíveis fósseis. Conforme a IEA (2016),

apesar do uso dessa fonte ser ainda pequeno – com cerca de apenas 13% do consumo mundial –, a biomassa tem capacidade de avanço elevado em sua utilização em um futuro imediato. Sauer et al (2006, p.20) destacam:

> A energia proveniente da biomassa tem ainda a grande vantagem de gerar energia elétrica próxima ao local de consumo, reduzindo os gastos com transmissão. O processo mais usual de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil é a combustão direta, gerando vapor para acionar uma turbina acoplada a um gerador elétrico.

Galaverna e Pastre (2017) destacam que a energia das biomassas, além de estar se tornando um elemento de prestígio econômico e industrial, já é considerada uma segurança na matriz energética mundial.

## 3. CAMINHOS DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como tema a avaliação da eficiência energética de biogás com características distintas de metano em sua composição, na produção de energia térmica e elétrica (cogeração). O problema que embasou esta análise foi que maiores teores de metano presentes no biogás ampliam o seu poder calorífico, resultando em um maior potencial de produção de energia, possível de ser obtida a partir deste combustível renovável. O biogás é colocado como uma fundamental estratégia no combate à diminuição dos gases de efeito estufa, aliado na autossuficiência da matriz energética, mantendo um desenvolvimento ambientalmente correto e agregando valores na economia e nas sociedades.

Além disso, de acordo com Silva (2017), a possibilidade da conversão de biomassas residuais em energia contribui para a transformação de passivos ambientais em ativos econômicos, promovendo a produção de biogás como uma prática de geração de biocombustível sustentável. A complexidade do sistema de purificação do biogás, bem como os custos envolvidos, está diretamente relacionada ao aproveitamento energético a ser implementado (FEAM, 2015). Porém, apenas remoção do $H_2S$ já oferece condições para o seu aproveitamento como fonte de energia elétrica, visto que os equipamentos desenvolvidos para tal operam com teores a partir de 45% de metano e o gasto para a purificação em teores maiores de metano nem sempre compensa o ganho energético obtido.

A ausência de avaliações e descrições detalhadas do processo de geração de biogás com seu aproveitamento na cogeração, em diferentes características de composição, é entrave na difusão dessa tecnologia e é nesse sentido que o presente estudo buscou contribuir, apontando os cenários construídos a partir das avaliações propostas nesta pesquisa.

Além de se tratar de uma proposição relacionada à tecnologia limpa, sendo buscada pelo aproveitamento de biomassas residuais provenientes de outros processos para utilização na geração de energia, a pesquisa procura contribuir ainda mais, minimizando essas perdas de energia pelo sistema, mais especificamente pelos gases de escape do motor; nessa dinâmica pode-se obter, além um melhor aproveitamento do insumo, que é a matéria orgânica, uma cooperação na questão econômica e, dessa forma, um incremento na eficiência do sistema.

Este estudo foi realizado nas dependências do Centro de Estudos de Biogás e Energias Renováveis (CEBER), no Campus da UNIVATES, em Encantado/RS, a 35 km da sede, em Lajeado/RS. O centro dispõe de estrutura específica para a realização de ensaios de digestão anaeróbia em escala piloto, com a possibilidade de expansão das avaliações para os usos do biogás gerado na planta piloto. A planta piloto de biogás é composta por um reator de 2 m³, construído em aço Inox 304, com capacidade de armazenamento de 2.000 L, sendo preenchido, para fins de teste, com 1.500 L de biomassa. Já na entrada da planta piloto, é possível encontrar o reservatório destinado à armazenagem de biomassa, antes ou após ser utilizada para a produção de biogás.

A entrada de material no reator ocorria pelo bombeamento da biomassa estocada em um tanque de equalização com capacidade de 2.000 L, onde há uma bomba do tipo submersível, de 1 CV, trifásica (220 V/380 V), de rotor aberto, com capacidade de bombeamento de 7 L/s, modelo BCS 205, da marca Schneider. O material de descarte desse reator foi também acomodado temporariamente em um tanque de saída com as mesmas especificações técnicas do tanque de equalização. Após ser bombeada do reservatório, onde está armazenada, a biomassa passava para um reator. Onde ocorreu alimentação da biomassa com óleos e gorduras realizada periodicamente com o auxílio de uma bomba dosadora. Nesse reator foram automatizados os processos de controle de temperatura, agitação, alimentação e monitoramento de volume de biogás produzido. A Figura 1 apresenta esse reator, no qual a entrada e a saída de biomassa ocorrem em batelada, pela inclusão de material no bocal localizado na parte superior do reator.



Figura 1. Reator para produção de biogás

O biogás gerado nesse reator foi conduzido até o interior do prédio por meio de mangueiras trançadas de uma polegada, com capacidade de suportar até 250 PSI de pressão, passando por um sistema de medição de vazão de gás, modelo TG05/1, da marca Ritter. Nesse sistema de medição de vazão, é essencial observar os dados de desempenho do medidor de gás usado de acordo com a folha de dados fornecida pelo fabricante. A carga máxima de pressão para esse medidor de gás de tambor da versão utilizada é de 500 mbar (carcaça feita de aço inoxidável), conforme orientações do manual do fabricante. Esse aparelho efetuava a medição de 1 – 60 litros/hora.

Após passar pelo medidor de vazão, o biogás gerado foi canalizado para um gasômetro com volume de 200 m³, por meio de uma tubulação de Polyvinyl Chloride PVC de 60 mm. Além disso, existia no local um sistema de limpeza do biogás, um purificador e um gerador elétrico com trocador de calor acoplado. A Figura 2 apresenta o gasômetro para armazenamento do biogás.



Figura 2. Gasômetro para armazenamento do biogás produzido

Desse modo, para sua estabilização, foram utilizadas cintas com regulagem por meio de catracas, para ajustar conforme o volume contido no gasômetro; também foram colocados em seu interior cerca de 2000 litros de água, para ajudar na fixação. O gasômetro foi instalado em uma base plana no CEBER, construído com geomembrana de Polietileno PEAD de 1,5 mm de espessura, resistente a raios UV, oxidações e impermeabilização. Ao gasômetro estava conectado um flare, para queima, no caso de excedentes. O queimador de gases – ou flare – é um equipamento em aço inox, com 3,5 m de altura, que conta com um centelhador automático e aterrado. Nele, há uma válvula manual, que é aberta sempre que há grande quantidade de gás estocado no gasômetro. Após sair do gasômetro, o biogás foi submetido a um processo de dessulfurização, que consiste na remoção do ácido sulfídrico ($H_2S$).

Dentre os vários métodos de remoção de $H_2S$ para baixas vazões e teores máximos de 1.500 ppm, foi utilizado um removedor $H_2S$ por adsorção regenerativa, com óxido de ferro III ($Fe_2O_3$). Utilizaram-se dois leitos de adsorção, em trabalho alternado, para adsorção ou para regeneração, com substituição anual da mídia de remoção de $H_2S$. A Figura 3 apresenta o dessulfurizador de biogás que foi utilizado. É importante salientar que a regeneração ocorre pela passagem de ar, auxiliada ou não com vapor de água, em função das oscilações do teor de $H_2S$ do biogás a ser tratado.



Figura 3.Dessulfurizador de biogás

Essa técnica consiste em fazer o biogás circular entre o óxido de ferro e, a partir deste contato, o gás sulfídrico fica retido ao reagir com o óxido de ferro (PRATI, 2010). A reação química que ocorre é explicitada da seguinte forma: $Fe_2O_3 + 3H_2S = Fe_2S_3 + 3H_2O$.

A capacidade nominal do removedor que foi utilizado é de 25 m³/h e 6 kVa de potência instalada, segundo informações do fabricante Janus & Pergher. Após ser dessulfurizado, o biogás foi conduzido para a Central de Purificação (PSA). A purificação do biogás objetiva a remoção de umidade, $CO_2$ e outros gases presentes em menores quantidades no biogás, com intuito de aumentar o seu poder calorífico, a partir da ampliação e da participação do metano na composição do biogás. A Central de Purificação de Biogás instalada foi fabricada por Janus & Pergher, em aço carbono galvanizado a fogo, com tubulações e válvulas de processo em aço inox e componentes elétricos a prova de explosão. A Figura 4 apresenta a central de purificação.



Figura 4. Central de purificação por adsorção com modulação de pressão (PSA).

O purificador PSA utilizado no trabalho tem capacidade nominal de purificação do biogás de 18 m³/h e a capacidade nominal de produção de biometano é de 11 m³/h, com potência instalada requerida de 4,05 kW/h para todo sistema de limpeza e movimentação do biogás, até chegar ao motor. Sendo utilizado 3,99 kW/h para compressor e secador, e apenas 0,064 Watts para as 8 solenoides da PSA, na qual demandavam de 0,008 Watts cada uma delas.

A obtenção dos dados de energia consumida no processo de purificação deu-se por meio de leituras de consumo de energia pelo sistema de limpeza e purificação do biogás, e a quantidade de gás utilizada em cada um dos testes foi quantificada por um medidor de vazão tipo rotâmetro (ver Figura 5), instalado junto ao gerador de energia. O valor da energia foi fixado a partir da utilização de motores e do consumo pela planta piloto em cada um dos testes.



Figura 5. Rotâmetro para medir vazão de biogás

Para a geração de energia elétrica, foi utilizado, na avaliação, um gerador com capacidade de 60 kVA de potência principal (40 kW de carga efetiva), acoplado a um motor CHP60 com 4 cilindros em linha. A Figura 6 apresenta o motogerador utilizado na pesquisa, ligado ao trocador de calor, em que foram feitas as análises de energia térmica.




Figura 6. Motogerador a biogás com trocador de calor

O motogerador CHP60 também possui um regulador eletrônico de velocidade, sendo refrigerado por trocador de calor (radiador), que também pode ter aproveitamento da água de refrigeração do motor para geração de água quente (CHP BRASIL, 2017). Acoplado ao gerador, foi instalado um trocador de calor, que é um dispositivo utilizado para resfriar o ar de exaustão do motor por meio da transferência de calor de um meio para outro (ar – água). O fluido utilizado para o resfriamento é a água, monitorada em relação à sua vazão (medidor específico), temperatura de entrada e temperatura de saída do sistema (sensor PT-100 e *data logger*). Estas informações combinadas permitem identificar a quantidade de energia envolvida no processo, ou seja, a quantidade de energia térmica gerada.

A Figura 7 ilustra o sistema de avaliação que foi utilizado nos três cenários, para a quantificação da energia térmica gerada a partir do aproveitamento do calor do motor.

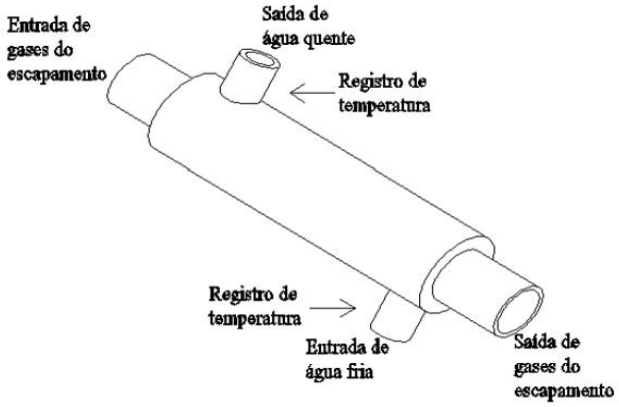



Figura 7. Pontos de monitoramento para a quantificação de energia térmica

As avaliações propostas para cada teste foram feitas com coletas de três em três minutos, no período de cada teste. Cabe destacar que foi utilizada a quantidade de biogás à disposição, com o intuito de garantir precisão nas informações e reduzir equívocos.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, foram analisados aspectos a respeito da purificação do biogás e foi possível contemplar, pelas tecnologias empregadas e resultados obtidos, que existe probabilidade da difusão para o tratamento de biomassas residuais e obtenção do biogás com níveis de purificações elevados.

Na geração de energia elétrica, pode-se afirmar que o trabalho conquistou resultados semelhantes com relação a outras pesquisas, ou seja, alcançando resultado de 2,26 kWh/$m^3$ de energia elétrica com o biogás apenas dessulfurizado, e 3,97 kWh/$m^3$ com o biogás purificado. Demonstrando pelos valores de geração possibilidade da utilização do biogás apenas dessulfurizado para essa finalidade.

Na questão do aproveitamento para geração de energia térmica, alcançaram-se valores de 1,36 kWh/$m^3$ de energia térmica com biogás dessulfurizado, e 2,32 kWh/$m^3$ com o biogás purificado, demonstram possibilidade de melhores resultados, em virtude principalmente da baixa condutividade térmica do material que foi construído o trocador de calor utilizado no trabalho, em comparação com outros materiais como alumínio, cobre, entre outros. Enfatizando, assim, possibilidades de melhores resultados se forem empregados equipamentos com certa superioridade de engenharia. Fica, nessa etapa do trabalho, possibilidade para futuras pesquisas em melhor aproveitamento dessa energia térmica, inclusive possibilidades para teses de doutorados.

## 5. REFERÊNCIAS

CANEVER, V. B. Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

CNI. Confederação Nacional das Indústrias. Matriz Energética: Cenários, Oportunidades e Desafios. 2017.

FILHO, A. V. O Brasil no Contexto Energético Mundial. Naippe, São Paulo, v. 6, 2009.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – FEAM. Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ), 2015.

GALAVERNA, R.; PASTRE, J.C. Produção de 5-Hidroximetil furfural a partir de Biomassa: Desafios Sintéticos e Aplicações com Blocos de Construção na Produção de Polímeros e Combustíveis Líquidos. Revista Virtual de Química, v.9, n. 1, p. 248-273, 2017.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Anais... Campinas, 2006. p. 10.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. Coal falls as gas rises: World energy balances in 2016.

KONRAD, O. et. al. Atlas das biomassas do RS para produção de biogás e biometano. Lajeado: Editora da Univates, 2016.

MORAIS, L. C. Estudo Sobre o Panorama da Energia Elétrica no Brasil e Tendências Futuras. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015.

PECORA, V. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso. 2006. 153f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Iterunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE, Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SAUER, I. L. et al. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobras. Revista Bahia Análise & Dados, Salvador, v. 16, n. 1, p. 9-22, jun. 2006.

SILVA, C. B. da. Abordagem teórica do processo de geração de biometano a partir de resíduos agroindustriais. 2017. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

SIMIONI, C. A. O uso de energia renovável sustentável na matriz energética Brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis. 2006. 314f. Tese (Doutorado) – Programa de Doutorado em Meio Ambiente, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOUZA, R. G. Desempenho do conjunto motogerador adaptado a biogás. 2006. 52f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Máquinas e Automação Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

SOUZA, W. N. T.; MANZELA, A. A. Otimização de desempenho de trocadores de calor compactos. Revista de Engenharia da Faculdade Selesiana, n. 1, p. 33-34, 2015.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira. Revista Novos Estudos CEBRAP, n. 79, nov. 2007, p. 47-69.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Arquitetura:

# Desenvolvimento Sustentável

REALIZAÇÃO:

URI

ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ENERGIAS RENOVÁVEIS E O DIREITO HUMANO FUNDAMENTAL AO MEIO AMBIENTE SADIO E EQUILIBRADO

**Fernanda Baldus**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Avenida Sete de Setembro, 1621 – CEP: 99709-910 – Erechim – Rio Grande do Sul – Brasil
baldusfe@gmail.com

**Franciele Fátima Marques**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Avenida Sete de Setembro, 1621 – CEP: 99709-910 – Erechim – Rio Grande do Sul – Brasil
francielemarques@uricer.edu.br

**Paloma Truccolo Reato**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Avenida Sete de Setembro, 1621 – CEP: 99709-910 – Erechim – Rio Grande do Sul – Brasil
palomareato@gmail.com

**Talissa Truccolo Reato**
Universidade de Caxias do Sul, Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 – CEP: 95070-560 – Caxias do Sul – Rio Grande do Sul – Brasil
talissareato@hotmail.com

***Resumo:*** *Todos os dias pesquisadores buscam por meio de novos instrumentos ou da potencialização das já existentes formas de dominar a natureza em proveito do homem a fim de aumentar os níveis de produção de bens materiais, bem como ofertar o conforto e a praticidade nas mais diversas atividades humanas. Tal parâmetro antropocentrista implica na exploração equivocada dos recursos naturais que está causando consequências danosas visíveis ao meio ambiente, sobretudo ao natural. Apesar de parecerem abundantes e infinitos, recursos como petróleo, carvão, gás natural, água e alimentos são escassos e, se usados de forma excessiva, irão se extinguir. O emprego em grande escala dos recursos naturais ocorre na geração de energia, porém, hodiernamente, já existem diversas fontes alternativas renováveis que evitam a queima de combustíveis fósseis e colaboram com um desenvolvimento suportável. Para que um controle sobre essas fontes seja efetivado e também para que as gerações futuras não sofram com a falta delas, o direito humano fundamental ao meio ambiente sadio e equilibrado foi disposto no texto constitucional brasileiro, bem como em ordens jurídicas de outros países, além de estar presente em tratados internacionais.*

***Palavras chave:*** *Desenvolvimento. Direitos Humanos Fundamentais. Energia renovável. Meio ambiente. Sustentável.*

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo geral desta pesquisa não é outro senão avaliar as energias renováveis como grandezas que contribuem para acessar o direito humano fundamental ao meio ambiente sadio e equilibrado. Sendo assim, a geração atual deve empreender um senso de desenvolvimento suportável, bem como perquirir a consagração da sustentabilidade, de modo que se avulta a responsabilidade para com as gerações futuras, desempenhando um uso consciente dos recursos naturais, assim como a elaboração de novas ideias para a utilização dos mesmos.

A pesquisa se justifica pela atualidade da temática, uma vez que o aumento, em um nível mundial, na demanda de fontes alternativas de energia é público e notório, dado que a escassez do petróleo e as mudanças climáticas ocasionadas pela queima de combustíveis fósseis implicaram em pesquisas na área técnica e na seara de impactos socioeconômicos e ambientais, sobretudo nas questões envolvendo energias renováveis, sustentáveis e limpas como caminho de mudança.

O primeiro objetivo específico busca conceituar e analisar as energias renováveis, de modo que se exibem algumas fontes alternativas, bem como se expõem a utilização de cada uma em escala nacional e internacional. Embora o planeta Terra seja um sistema fechado em relação a matéria, o mesmo não é verdade para a energia. Logo, é possível canalizá-la de modo que seja utilizada pelas pessoas em suas tarefas cotidianas, por exemplo.

Isto posto, o objetivo especifico intermediário visa examinar o direito humano fundamental ao meio ambiente sadio e ecologicamente equilibrado, o qual traduz-se na necessidade de preservar o ambiente de forma que a sobrevivência de todos seja assegurada, assim como a consumação dos demais direitos humanos.

Por fim, o terceiro objetivo específico é o que analisa de qual forma as energias renováveis podem colaborar para a promoção do direito humano fundamental ao meio ambiente sadio e equilibrado, assim como para a concretização do desenvolvimento menos devastador e dos ideais da sustentabilidade. Destarte, a natureza é fundamentada no princípio da homeostase, portanto, necessitam-se esforços intelectuais para que seja possível o desenvolvimento de métodos que minimizem os desvios no equilibro do meio ambiente, colaborando com a preservação da rede de ciclos responsáveis por manter a vida no planeta.

## 2. ENERGIAS RENOVÁVEIS (LIMPAS E SUSTENTÁVEIS)

O cenário energético atual é considerado um modelo pouco sustentável, pois é baseado principalmente no uso de combustíveis fósseis. Salienta-se que mais de três quartos do consumo total de energia do mundo vem desta fonte de combustível (MARQUES, 2007). Todavia, a procura por fontes alternativas de energia se faz cada vez mais presente e visa a autossuficiência em energia aliada a uma preocupação ambiental (PACHECO, 2006).

Primeiramente, insta considerar que o gás natural, o petróleo e o carvão são principais exemplos dos combustíveis fósseis. A origem de tais fontes vem da decomposição milenar de matéria viva, tendo um tempo de formação longo e, em contrapartida, um consumo gradativamente mais acelerado. Por esta razão, são considerados como fonte de energia não renovável, uma vez que a capacidade natural de os repor é insuficiente em comparação a velocidade com que são consumidos. Além disto, a sua queima provoca efeitos ambientais severos que afetam diretamente o clima e a saúde pública (MARQUES, 2007).

Tratando-se de alternativas para fontes energéticas convencionais, cumpre destacar que o termo energia renovável possui uma ampla abrangência. A expressão refere-se à uma série de recursos energéticos que são disponibilizados na natureza de forma cíclica. Eles podem ser empregados na geração de energia elétrica, calor ou na produção de combustíveis líquidos para o setor de transportes (COSTA; PRATES, 2005). Além destas fontes não se esgotarem, a poluição gerada por elas é menor. Também é muito comum a utilização dos termos energia limpa e sustentável, porém, por convenção, hoje estes estão inseridos dentro da expressão "energia renovável" (SILVA, 2011).

Isto posto, importa dizer que solar, eólica, geotérmica, de biomassa e PCHs são algumas das alternativas às fontes energéticas tradicionais que vêm sendo muito estudadas por serem ambientalmente mais corretas e, igualmente, por permitirem a geração distribuída de energia (COSTA; PRATES, 2005). São as mencionadas fontes que em pormenores serão apreciadas a seguir.

Assim, a energia solar, isto é, a energia proveniente do sol, pode ser utilizada de forma direta ou indireta, além de possibilitar a redução em até 70% do consumo de energia convencional. A radiação solar pode ser utilizada como fonte de energia térmica, aquecendo fluidos e ambientes, seguida da geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ocorrer uma conversão direta, por meio de efeitos termoelétricos ou fotovoltaicos, em energia elétrica. Um melhor aproveitamento desta radiação pode ser feito através de técnicas mais sofisticadas de arquitetura (PACHECO, 2006). Atualmente, o país mais desenvolvido quando se trata de células solares é a Alemanha, seguido da Itália, do Japão, da Espanha e dos Estados Unidos. Estes países promovem programas para incentivar o uso da energia solar (MACHADO, MIRANDA, 2014).

Além da solar, a energia eólica se dá por meio da ação dos ventos, oriundos do aquecimento desigual do planeta Terra (PACHECO, 2006). A geração de energia elétrica a partir do movimento das massas de ar é realizada por turbinas eólicas. Estas são constituídas por uma série de componentes, os quais são responsáveis pelas três etapas do processo, sendo elas: a captação de energia cinética contida no vento, a conversão desta energia em energia mecânica e, por fim, a transformação, por meio de um gerador, em energia elétrica. (LEITE, FALCÃO, BORGES, 2006). Este tipo de energia renovável é a que possui uma exploração mais bem-sucedida atualmente. Isto decorre da política de incentivo feita por vários países, fator que assegura a compra da energia eólica produzida. A Alemanha e a Dinamarca foram pioneiras neste processo, seguida por vários países, inclusive o Brasil (LEITE, FALCÃO, BORGES, 2006).

Outra fonte energética é a geotérmica, a qual é definida como a energia térmica proveniente do interior da Terra. Este calor pode ser dissipado em qualquer ponto da superfície terrestre, sendo maior em regiões que coincidem com as zonas ativas das fronteiras das placas tectônicas do globo (ARBOIT et al., 2013). O aproveitamento desta fonte de energia pode ser feito através da condução do calor do interior da Terra até as regiões próximas à superfície, ou por meio de bombas de calor, as quais operam a partir da diferença de temperatura entre o ambiente e o solo. A forma direta de exploração é restrita para as regiões de fronteira entre placas tectônicas como, por exemplo, no "anel de fogo" no Pacífico e Islândia (VICHI; MANSOR, 2009). Na América Latina é possível a utilizar no Uruguai, Paraguai, Argentina e no Brasil, países que fazem parte do Sistema Aquífero Guarani. Segundo estudos, este reservatório possui potencial geotérmico para aquecer a água de edifícios e sistemas de calefação; porém, no Brasil, fica restrito para fins recreativos (ARBOIT et al., 2013).

No que diz respeito à biomassa, pode-se dizer que se trata da matéria orgânica de origem animal ou vegetal que pode ser utilizada na geração de energia hidráulica e outras fontes renováveis. A forma direta de aplicação desta fonte energética é por meio da combustão da matéria orgânica, que gera simultaneamente calor e eletricidade (BERMANN, 2008). A forma indireta se dá pela conversão dos elementos primários em biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e posterior transformação em energia térmica, mecânica e elétrica. Em todos os países, principalmente nos países

desenvolvidos, a produção de energia elétrica a partir da biomassa é defendida como uma alternativa de importância expressiva (COLDEBELLA et al., 2006).

Por fim, o movimento das massas de água dos rios, que fluem em altitudes elevadas em relação aos mares, gera uma energia cinética conhecida como energia hídrica. O aproveitamento desta energia, decorre da instalação de PCHs. Estas mini hídricas possuem uma capacidade potencial superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW. São destinadas a atender demandas de áreas periféricas ao sistema de transmissão (PACHECO, 2006). Ocorre que é evidente que os danos ambientais causados por estas são menores em comparação a uma grande central hidrelétrica, entretanto, podem gerar impactos irreversíveis para o bioma da região e para a população que nele vivem. Assim sendo, as preocupações na construção de uma PCH são as mesmas na de uma grande usina hidrelétrica (BERMANN, 2008). Conhecidas opções de energia (renováveis), passa-se a verificar o direito humano fundamental ao meio ambiente para, ao final, relacionar os dois axiomas.

## 3. O DIREITO HUMANO FUNDAMENTAL AO MEIO AMBIENTE SADIO E EQUILIBRADO

Antes de mais nada, cumpre esclarecer que direitos humanos e direitos fundamentais não possuem exatamente a mesma significação. Os direitos humanos são direitos positivados em tratados internacionais, isto é, são direitos que atingem o patamar do Direito Internacional Público. Por outro lado, os direitos fundamentais são os que pertencem ao direito constitucional interno de cada Estado e, portanto, são positivados nas Constituições (BAGATINI, 2012). Como o meio ambiente é um direito abordado em tratados internacionais em que o Brasil é signatário e também está presente no artigo 225 da Constituição Federal do Brasil, pode-se dizer que se trata no âmbito da ordem jurídica pátria de um direito humano que também é fundamental.

Em termos históricos não é uníssono o posicionamento acerca da origem dos direitos humanos fundamentais, há uma posição vigorosa que defende a origem conjuntamente com as revoluções liberais ocorridas nos Estados Unidos, Inglaterra e França. Quanto ao conceito, tais Direitos podem ser definidos como um "conjunto de direitos e garantias do ser humano, cuja finalidade principal é o respeito a sua dignidade, com proteção ao poder estatal e garantia das condições mínimas de vida e desenvolvimento do ser humano", isto é, propõe assegurar o respeito à vida, à liberdade, à igualdade e à dignidade para o desenvolvimento integral da personalidade (DA SILVA, 2006 a, p.02).

Pode-se dizer que atualmente não há Estado que não tenha adotado pelo menos um dos pactos internacionais mais relevantes sobre direitos humanos ou que não tenha estabelecido minimamente um núcleo de direitos fundamentais em sua Constituição (SARLET, 2012). Destaca-se que a Constituição Federal do Brasil, que foi promulgada em 1988, por exemplo, tem como base a Declaração Universal dos Direitos Humanos da Organização das Nações Unidas (ONU).

Em virtude de ser um tema que envolve diversas áreas e, portanto, a fim de tornar o estudo dos direitos humanos fundamentais mais acessível, diversos pesquisadores adotaram uma classificação que os divide em gerações (também conhecidas como dimensões). A primeira geração fala sobre a liberdade individual, focada nos direitos civis e políticos. A segunda geração aborda os direitos econômicos, sociais e culturais. Na terceira geração são discutidos os direitos de solidariedade e fraternidade. Existe, ainda, para alguns doutrinadores, uma quarta geração que falaria sobre os direitos da bioética e da informática, mas a sua efetividade não é totalmente reconhecida pela comunidade jurídica (SARLET, 2012). Além destas, fala-se em uma quinta geração que abordaria o direito à paz, igualmente controversa.

Assim sendo, tem-se na terceira geração o direito a um meio ambiente sadio e equilibrado, além de uma saudável qualidade de vida, progresso, etc. Esses direitos de solidariedade e fraternidade falam sobre desenvolvimento, paz, meio ambiente, comunicação e patrimônio comum. São garantias humanistas e universais, uma vez que não são concentrados apenas em interesses individuais, de grupo ou de momento (DA SILVA, 2006 a).

O caráter difuso, complexo e, de certa forma, paradoxal dessa terceira geração dos direitos humanos faz com que seja difícil atribuir um marco histórico no qual eles tenham iniciado sua construção (PORTANOVA, 2004). Pode-se atribuir como referência o ano de 1968, especialmente o mês maio de 1968 na França, no qual um primeiro surto de globalização adveio a partir de um protesto estudantil em cadeia que demonstrou o descontentamento popular com o modelo capitalista industrial. A ideia de uma evolução sem limites e a crença na continuidade do progresso começaram a ser questionadas (GONÇALVES, 2005).

O ideal buscado em planos econômicos é o de desenvolver ciência e tecnologia dominando a natureza em proveito do homem, aumentando a produção e proporcionando maior conforto material. Analisando sob olhos Marxistas: o capitalismo e o socialismo não são conformes no que diz respeito ao modo de produção, entretanto, ambos têm o mesmo ponto de vista em relação aos meios empregados para o desenvolvimento da sociedade (PORTANOVA, 2004). Isto é, seja qual for o modo pelo qual uma sociedade é organizada, todas tem o mesmo ponto de interesse comum no que diz respeito ao aumento da produção.

O principal objetivo do direito humano fundamental ao meio ambiente sadio e equilibrado é limitar os interesses humanos infinitos dentro de um planeta com recursos finitos, isto é, tornar a sociedade ecologicamente responsável, e, ainda assim, manter a democracia (DE CARVALHO, 2007). Por conseguinte, os desafios encontrados pelo modelo nacional de participação, especialmente no que diz respeito ao meio ambiente, devem ser expostos à comunidade, pois somente desta forma o sistema atual será aprimorado (FURRIELA, 2002).

O direito ao meio ambiente está sendo cada vez mais reconhecido nos ordenamentos jurídicos internos e nos sistemas de proteção dos direitos humanos. Referido reconhecimento se dá por meio de tratados e disposições de direito interno dos Estados, pelas resoluções da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas, pelas declarações em conferências internacionais, pelos programas de ação e pelos códigos de conduta. É observado, então, que a consciência ecológica é instigada na sociedade em nível nacional e internacional (DE CARVALHO, 2007).

Na década de 1970, o movimento ambientalista apresentava duas vertentes: por um lado a defesa da suspensão do crescimento econômico e populacional e, por outro, a defesa da implantação de mecanismos que retificassem os problemas ambientais causados pelo desenvolvimento (JUNQUEIRA, 2000). Nesse cenário, foi fundado o Clube de Roma, uma entidade de intelectuais e empresários que discutia a preservação dos recursos naturais (GONÇALVES, 2005). No ano de 1972 foi publicada a obra "Os Limites do Crescimento", impulsionando o debate mundial sobre meio ambiente, o qual atingiu seu ápice. No mesmo ano, na I Conferência Mundial da Organização das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, deu-se origem a um processo de gestão dos problemas ambientais a nível planetário (JUNQUEIRA, 2000).

Neste mesmo viés, em 1987, na Noruega, a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas elaborou um documento intitulado "Nosso Futuro Comum", também chamado de "Relatório Brundtland", no qual os governos signatários estavam se comprometendo a promover o desenvolvimento econômico e social com consciência de preservação ambiental. O conceito de "desenvolvimento sustentável" foi elaborado nessa conferência e acabou se tornando um dos mais difundidos no que diz respeito a matéria ambiental. Ele estabelece, então, que desenvolvimento sustentável "é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades" (GONÇALVES, 2005).

Esse conceito foi reafirmado na "Agenda 21", documento desenvolvido durante a conferência "Rio 92". Essa declaração é um instrumento de planejamento participativo, promovendo o desenvolvimento sustentável em uma escala local, nacional, regional e internacional (GONÇALVES, 2005). A "Agenda 21" Brasileira é resultado de uma vasta pesquisa realizada com a população. Este documento foi coordenado pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e entregue à sociedade, em sua versão final, em 2002 (BRASIL, 2018). Salienta-se que, apesar da vultosa importância do conceito de "desenvolvimento sustentável", nos dias atuais existem diversas discussões entre estudiosos sobre a real possibilidade de conciliar na práxis tais termos.

O "Protocolo de Montreal" (de 1987) e o "Protocolo de Kyoto" (de 1997) também são tratados internacionais de grande porte. Ambos defendem o meio ambiente evitando que as atividades antrópicas tornem a vida na Terra inviável. Os protocolos discorrem muito sobre gases do efeito estufa, apresentando uma resposta internacional às consequências do modelo de desenvolvimento industrial adotado. Também criticam o crescimento acelerado do setor produtivo, o qual ainda faz uso de matérias-primas fósseis para gerar energia e insumos para as plantas industriais (DA SILVA, 2009 b).

## 4. A RELAÇÃO ENTRE AS ENERGIAS RENOVÁVEIS E LIMPAS E O DIREITO FUNDAMENTAL AO MEIO AMBIENTE SADIO E EQUILIBRADO

A energia governa a vida no planeta, seja ela como parte do próprio metabolismo dos seres vivos ou como parte da cultura humana nas sociedades modernas. As Energias Renováveis Sustentáveis podem não gerar tanta riqueza quanto o petróleo, entretanto, por serem mais limpas (pouco ou não poluentes) e sustentáveis (renováveis), podem contribuir para a solução de problemas contemporâneos ou, preferencialmente, podem até evitá-los (SIMIONI, 2006).

O crescimento das forças produtivas e o decorrente início da exploração em grande escala dos recursos naturais acabaram colidindo com as questões relativas ao equilíbrio ambiental. Com o contínuo aumento do nível de produção, era impossível que não houvesse um colapso ecológico, considerando que a capacidade científica de processamento da matéria é infinitamente maior que a capacidade da natureza em se regenerar (PORTANOVA, 2005). Destarte, surgiram os Direitos Humanos ao meio ambiente, buscando o controle da ação humana sobre a natureza e, portanto, procurando garantir um meio ambiente sadio e equilibrado para a geração presente assim como para as futuras.

Os recursos naturais devem ser explorados de modo que os ecossistemas mantenham sua capacidade de resiliência, mas também há uma preocupação com o bem-estar da sociedade, na qual os cidadãos devem ter o mínimo necessário para uma vida digna (NASCIMENTO, 2012). Aliando-se tal premissa ao planejamento energético, surge uma política baseada em suprir a demanda e evitar risco de destruir a natureza e a saúde de todos.

Apesar dos argumentos contra a queima de combustíveis fósseis estarem cada vez mais fundamentados, o setor de energia mundial, constituído por transnacionais e empresas estatais, segue utilizando esta como fonte principal de energia (SIMIONI, 2006). Os subprodutos gasosos resultantes apresentam propriedades físico-químicas que os fazem interagir com a atmosfera, ocasionando alterações que afetam a biosfera (DA SILVA, 2009 b). A justificativa para essa utilização reduzida é baseada no fato de que as energias alternativas ainda são economicamente inviáveis e, portanto, diminuiriam significativamente o lucro das empresas (SIMIONI, 2006).

Ainda que bem-intencionada, fato é que a ação humana na natureza sempre gera algum tipo de efeito. O termo "sustentabilidade" está diretamente relacionado com mencionados efeitos. Logo, é preciso mudar a perspectiva e o rumo do comportamento humano sobre os recursos oferecidos pelo planeta, minimizando qualquer tipo de interferência (SIMIONI, 2009). Para isso os tratados e protocolos sobre o controle da emissão de gases do efeito estufa, da extração

dos recursos naturais, do nível de contaminantes depositados nas águas, do desmatamento, entre outras decorrências, passaram a ser instituídos.

A proposta que inspira a necessidade e a possibilidade de interferir e direcionar o formato de desenvolvimento econômico conciliando eficiência econômica, contentamento da sociedade e consciência ambiental passa a ter uma aceitação geral. Para tanto, as autoridades competentes devem construir, operar e manter a infraestrutura econômica, ambiental e social, supervisionando os planejamentos e estabelecendo regulamentações ambientais em favor de um desenvolvimento sustentável (JUNQUEIRA, 2000) ou mais suportável, haja vista que desenvolvimento sustentável é uma expressão complexa dotada de controvérsias, ainda que seu alcance, se possível, possa ser o ideal para o planeta.

A racionalidade econômica é questionada por ecologistas, em termos de seus próprios critérios. O debate ambiental dos dias atuais deixa claro que, mesmo com os inúmeros impasses que o desenvolvimento industrial coloca, a solução destes problemas pode acontecer a partir de medidas restritivas ao aumento da produção. Assim, a racionalidade ecológica é um princípio limitante da racionalidade econômica e do próprio desenvolvimento (GONÇALVES, 2005).

A ideia de sustentabilidade relacionada ao desenvolvimento está fundamentada em gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais simultaneamente. Portanto, significa incorporar alguns referenciais ecológicos a racionalidade econômica, para que haja capacidade de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as futuras gerações. Ocorre que a utilização das energias renováveis acima mencionadas traz, ainda que poucas, algumas desvantagens. A principal delas está relacionada ao potencial energético que é inferior ao comparado as fontes convencionais, fazendo com que as fontes fósseis dominem a matriz energética mundial. Entretanto, as vantagens ambientais destas energias são predominantes, elas emitem muito menos poluentes e podem gerar mais empregos. Desta forma, são consideradas a melhor solução para a crise energética.

O direito humano ao meio ambiente sadio e equilibrado é uma resposta internacional às consequências do modelo de desenvolvimento industrial adotado. Para concretizar este direito, surgem políticas como o desenvolvimento sustentável e a geração de energias renováveis (JUNG; ROSA, 2013). É perceptível que ao unirmos a tecnologia atual com o setor energético sustentável, tem-se fontes alternativas com potencial de reduzir as marcas do homem no planeta e minimizar os problemas da rápida industrialização.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenfreado desenvolvimento industrial pode acarretar consequências irreversíveis ao meio ambiente, tanto para a geração presente como para as que virão. O direito humano fundamental ao meio ambiente sadio e equilibrado veio para assegurar uma qualidade de vida à sociedade que só a natureza em harmonia é capaz de proporcionar. Todo ser humano necessita de água potável para beber, ar de qualidade para respirar, assim como precisa de locais arborizados nos centros urbanos para um melhor controle da temperatura ambiente, por exemplo.

Uma das atitudes responsáveis por comprometer o acesso a esses direitos é a queima de combustíveis fósseis na geração de energia. Porém, já existem diversas fontes alternativas que não interferem, ou pelo menos não de maneira tão significativa, no princípio da homeostase que comanda todos os processos da natureza. O problema enfrentado pelos governos Estatais e pelas grandes indústrias que adotariam esse meio de geração de energia é econômico. Ainda é muito dispendiosa a instalação e manutenção de usinas que trabalhem de forma renovável, sustentável e limpa.

Atualmente, as organizações defensoras do meio ambiente fazem o que está em seu alcance para controlar a emissão de poluentes por parte dessas usinas. Muitos países estão gradativamente mais conscientes e com uma nova perspectiva sobre as questões ambientais. Os tratados e protocolos elaborados são de extrema importância para que o meio ambiente seja preservado e, consequentemente, para que uma qualidade de vida próxima do ideal seja alcançada.

Com os processos tecnológicos em constante evolução, hoje em dia é possível chegar muito perto de um equilíbrio entre desenvolvimento industrial e preservação do meio ambiente. Contudo, o investimento ainda é alto e, além disso, os espaços físicos necessários para a implantação de usinas de energia renovável pode requerer características muito especificas, limitando a escolha dos locais de construção.

A perspectiva para os próximos anos é otimista. Existem países nos quais a energia renovável já é dominante. A China, por exemplo, é a maior investidora em energia eólica do mundo. Na Alemanha, a utilização de energia solar cresce cada vez mais. O Brasil colabora com uma alta produção de bioenergia e biocombustíveis. A tendência é que o investimento nesse tipo de geração de energia aumente e que os custos diminuam. O aprimoramento das tecnologias é constante e preocupado em garantir para a sociedade um meio ambiente equilibrado.

## 6. REFERÊNCIAS

Arboit, N. K. S.; Decezaro, S. T.; Do Amaral, G. M.; Liberalesso, T.; Mayer, V. M.; Da Kemerich, P. D. C. Potencialidade de Utilização da Energia Geotérmica no Brasil – uma revisão de literatura. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 26, 2013.

Bagatini, W. Direitos Humanos e Direitos Fundamentais. Publicado na XII Mostra de Iniciação Científica – Pós-graduação, Pesquisa e Extensão – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul. v. 1, nov./dez., 2012.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Agenda 21. Disponível em <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21> Acesso em: 17 mai. 2018.

Bermann, C. Crise Ambiental e as Energias Renováveis. Cienc, Cult. São Paulo, v.60, n.3, 2008.

Bermann, C. Energia no Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável. São Paulo: Editora Livraria da Física: FASE, 2001.

Cavalcanti, C. (Org.). Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil, 1994.

Pacheco, F. Energia Renováveis: breves conceitos. Conjuntura e Planejamento, v. 149, 2006.

Coldebello, A.; De Souza, S. N. M.; De Souza, J; Koheler, A. C. Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica com Biogás na Bonivocultura de Leite. Proceedings of the 6. Encontro de Energia do Meio Rural, Campinas, 2006.

Da Costa, R. C.; Prates, C. P. T. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 21, 2005.

Da Silva, D. H. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. Revista Brasileira de Política Internacional. v. 52, n. 2, jul./dez., 2009 b.

Da Silva, F. M. A. Direitos Fundamentais. Publicado em 2006 a. Disponível em: <http://www.direitonet.com.br/artigos/exibir/2627/Direitos- Fundamentais>. Acesso em: 14 mai. 2018.

De Carvalho, E. F. Superação de Obstáculos ao Reconhecimento e Efetivação do Direito ao Ambiente Ecologicamente Equilibrado à Luz da Concepção Pluralística dos Direitos de Solidariedade. Florianópolis, 2007. 418 p. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007. [Orientador: Professor Dr. Antônio Carlos Wolkmer].

Furriela, R. B. Democracia, Cidadania e Proteção do Meio Ambiente. 1. Ed. São Paulo: Annablume, 2002. 194 p.

Gonçalves, D. B. Desenvolvimento sustentável: o desafio da presente geração. Espaço Acadêmico. v. 5, n. 51, ago., 2005.

Hart, S. L.; Milstein, M. B. Criando valor sustentável. GV-executivo, v. 3, n. 2, 2004.

Jung, T. I.; Rosa, L. B. DIREITO AMBIENTAL BRASILEIRO. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2013.

Junqueira, R. G. P. Agendas sociais: desafio da intersetorialidade na construção do desenvolvimento local sustentável. Revista de Administração Pública. v. 34, n. 6, nov./dez., 2000.

Leite, A. P.; Falcão, D. M.; Borges, C. L. T. Modelagem de usinas eólicas para estudos de confiabilidade. Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica, v. 17, n. 2, 2006.

Machado, C. T.; Miranda, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 1, 2014.

Marques, S. Energias fósseis versus energias renováveis: proposta de intervenção de educação ambiental no 1. º ciclo do ensino básico. Braga, 2007. 241 p. Dissertação (Mestrado em Estudos da Criança) – Universidade do Minho, Braga, 2007. [Orientador: Professor Dr. Nelson Lima].

Portanova, R. Direitos humanos e meio ambiente: uma revolução de paradigma para o século XXI. Ilha: Revista de Antropologia. v. 7, n. 1, fev., 2005.

Sarlet, I. W. A eficácia dos direitos fundamentais: uma teoria geral dos direitos fundamentais na perspectiva constitucional. 11. ed. rev. atual. Porto Alegre: Livraria do Advogado Editora, 2012.

Vichi, F. M.; Mansor, M. T. C. Energia, Meio Ambiente e Economia: o Brasil no Contexto Mundial. Química Nova, v.32, n.3, 2009.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# O SANEAMENTO É BÁSICO E O BÁSICO É ESSENCIAL

**Jéssica Silva de Jesus**
**Dionei Jose Serafin Wieczorek**
**Cristiane Antonia Makijewski**
**Dra. Mariele Zawierucka Bressan**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai, Campus II, RS 331, Bairro Demoliner CEP 99700-000 - Erechim – RS
jeksjesus@gmail.com

***Resumo:*** *Com a migração de moradores para grandes centros urbanos, as zonas rurais de municípios carecem de infraestrutura necessária de saneamento básico. O sistema coletor de esgotamento sanitário coletivo tem sua implantação nos meios urbanos, tendo um alto custo de inserção nas zonas rurais, onde a distribuição demográfica é maior, sendo assim muitos moradores dessas localidades não possuem o sistema mínimo de tratamento, que consiste na fossa séptica individual. Tomando como parâmetro a análise realizada no município de Pinhal Grande, localizado na região Centro ocidental Rio Grandense, que possui um número significativo de moradores sem o sistema ideal de tratamento de esgoto. Desta maneira esse estudo propõem a inserção de um método de tratamento de esgotamento sanitário economicamente viável à população rural Pinhalgrandense, através de fossas sépticas biodigestoras, visando à diminuição do lançamento de esgoto in natura, além de minimizar os custos, com sua destinação, para o poder público. Para isso foi analisada a quantidade de moradores rurais que não possuíam fossa séptica em sua residência e calculado o custo de implantação do sistema de tratamento com fossas biodigestoras e quais os seus benefícios.*

***Palavras chave:*** *Saneamento básico, fossa séptica, biodigestão.*

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população residente nos grandes centros urbanos, o foco do poder público voltou-se para planejar e suprir a necessidade das pessoas que ali habitam havendo um custo demasiado de implantação de um sistema de tratamento de esgoto coletivo nas zonas rurais devido a sua distribuição demográfica, segundo (Nascimento *et al.*, 2015).

Os cidadãos ainda residentes na zona rural carecem de infraestrutura básica de saneamento nas residências, levando a falta de um sistema individual de tratamento eficaz e em muitos casos o esgoto a céu aberto, que pode causar doenças graves em contato com o ser humano (Costa e Guilhoto, 2014a).

Nos últimos anos o saneamento básico se tornou foco de várias pesquisas e formas alternativas de oferecer aos moradores que não possuem acesso à rede coletora de esgoto, um sistema básico de fossa séptica, implantado nas residências com custo-benefício para a população e também ao meio ambiente.

Assim, visando atender às necessidades de tratamento do esgoto rural, há um sistema alternativo de tratamento, que é a fossa séptica biodigestora. A fossa séptica biodigestora foi desenvolvida por Novaes no ano 2000. É um sistema de tratamento de esgoto implantado nas residências para tratar os dejetos humanos, cujo intuito é substituir o esgoto a céu aberto e as atuais fossas rudimentares utilizadas em propriedades rurais, apresentando muitos benefícios à população que a utiliza (Novaes *et al*., 2006a).

Segundo (IBGE 2011a), estimou-se que em 2009 apenas 25% da população rural do país teve acesso à rede de coleta ou ao tratamento de esgoto. Levando em consideração esses dados apresentados, o referente estudo traz como problemática a falta de sistema correto de tratamento de esgoto à população rural.

Tem-se como objetivo geral a apresentação de estudo acerca da viabilidade da utilização de fossas sépticas biodigestoras nas residências rurais encontradas no município de Pinhal Grande, localizado na região Centro ocidental Rio Grandense com população de aproximadamente 4.400 habitantes, onde foi identificado por meio desse estudo um número elevado de residências sem sistema ideal de tratamento de esgoto. Os objetivos específicos são a análise do sistema biodigestor e sua implantação, bem como os benefícios gerados com a sua utilização nas moradias rurais.

## 2. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi feita mediante leitura sistemática, com fichamento de cada obra, ressaltando os pontos abordados pelos autores pertinentes ao assunto em questão.

A pesquisa de campo foi realizada no arquivo da Prefeitura Municipal de Pinhal Grande, no período de 2018, como instrumento de coleta de dados utilizou-se o resultado da aplicação dos questionários feitos com a população e também, a análise de alguns apontamentos do Plano Municipal de Saneamento Básico elaborado em 2012 para a Prefeitura Municipal de Pinhal Grande, o qual se encontra nas instalações da mesma para consultas. Utilizou-se como base a pesquisa realizada em 2018 pela equipe de funcionários públicos de Pinhal Grande, que integra o novo Plano Municipal de Saneamento Básico, tendo como referência arquivos da Prefeitura Municipal, fotos e conversas com funcionários.

A Lei N°11445/2007 foi utilizada como principal parâmetro balizador para normas de aplicação de sistemas de tratamento de esgoto eficazes.

## 3. SANEAMENTO BÁSICO

A Lei nº 11.445/07 pontua o conceito de saneamento básico como "o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas".

Levando em consideração a descrição feita pela lei acima, entende-se o saneamento básico com importância indiscutível na vida da população.

A rede coletora de esgotos é uma parte integrante do sistema de esgotamento sanitário urbano, que consiste no conjunto de tubulações e acessórios destinados a receber e conduzir os esgotos captados dos coletores ou ramais prediais (residenciais) até os coletores tronco ou coletores primários, que conduzem o esgoto a um emissário ou a um interceptor, onde é depositado em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) e por fim nos efluentes "Fig. 01". Este sistema se bem dimensionado consegue atender a população urbana de forma eficaz, devido a infraestrutura e também a distribuição demográfica dos moradores, o que ao analisar as residências rurais, com sua distribuição da população mais esparsa, não seria possível haver a implantação sem um alto custo aos cofres públicos para a mesma.

(Guilhoto et. al., 2014b) " considera a fossa séptica de três recintos interligados como o sistema de tratamento ideal nas residências onde não é possível haver rede coletora de esgoto "Fig. 02".

O sumidouro ou fossa rudimentar, é definido por um buraco escavado na terra sem nenhuma contenção, que recebe todos os dejetos sem qualquer tratamento, esse sistema precário de saneamento ainda pode ser encontrado na maioria das residências rurais, podendo ser responsável pela disseminação de graves doenças, além da contaminação direta do solo.

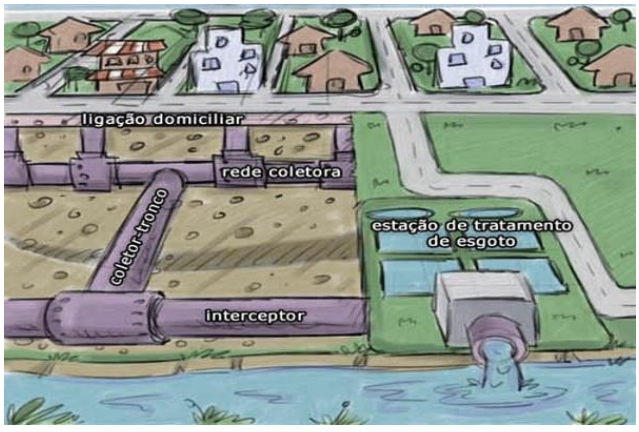



Figura 01 – Rede coletora de esgotamento sanitário urbano (site ECivil, 2019)

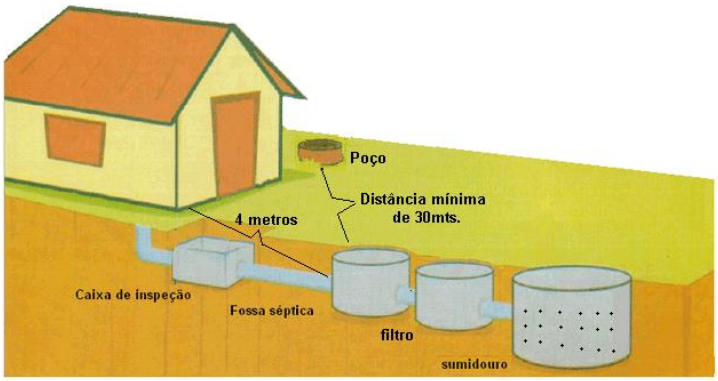



Figura 02 – Sistema ideal de tratamento de esgoto residencial (site Esgotecnica, 2019)

### 3.1 Plano Municipal de Saneamento Básico

O Plano Municipal de Saneamento básico é um documento que estabelece as regras para que todas as casas tenham acesso aos serviços de saneamento básico (abastecimento de água, esgoto, drenagem urbana e resíduos sólidos). O plano deve apresentar um diagnóstico da situação do município, objetivos a serem alcançados, projetos e ações para solucionar os problemas.

Com a publicação da Lei n.º 11.445/2007, Lei de Saneamento Básico, todas as prefeituras têm obrigação de elaborar seu Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Sem o PMSB, desde o ano de 2014, a Prefeitura não pode receber recursos federais para projetos de saneamento básico.

Pode-se considerar de demasiada importância que os municípios tenham o PMSB para receber recursos da União e consequentemente tornar o acesso da população ao sistema básico de saneamento.

### 3.2 O Saneamento Básico em Pinhal Grande

O município de Pinhal Grande localizado na região Centro Ocidental Rio Grandense, com população de 4.471 habitantes, segundo senso do IBGE realizado em 2010, não possuía PMSB até o momento em que esse estudo foi realizado, tendo assim que haver adequação segundo a Lei N°11445/17.

No ano de 2018 deu-se início à documentação necessária para elaboração do PMSB, sendo realizado questionário com a população, englobando os quatro eixos do saneamento básico (resíduos sólidos, abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais), os quais foram distribuídos pelas Agentes Comunitárias de Saúde, segundo o mapeamento de área de atendimento. Através do questionário foi possível analisar famílias que residiam no município no referente ano e também detectar os principais problemas no saneamento básico do município.

Ao realizar a pesquisa de campo na Prefeitura Municipal, foi possível identificar que foram distribuídos questionários em 2.756 residências, sendo 2.081 residências urbanas e 675 rurais, das quais apenas 1.541 moradias responderam ao questionário, podendo ser analisado na "Guia 01" os seguintes dados:

| **Tipo de sistema de esgotamento sanitário** | **6.1** |
|---|---|
| Rede de esgoto | 485 |
| Direto na rede pluvial | 2 |
| Fossa séptica, filtro e sumidouro | 86 |
| Fossa séptica e rede pluvial | 1 |
| Direto no rio ou sanga | 4 |
| Fossa séptica | 412 |
| Fossa rudimentar | 503 |
| Fossa séptica, filtro e rede pluvial | 6 |
| Outro | 42 |

Tabela 1 – Resultado geral de questionários (arquivos da Prefeitura Municipal de Pinhal Grande, 2018)

Dos questionários respondidos foram analisados os que assinalaram fossa rudimentar e em verificação mais aprofundada foi confirmado que as residências que indicaram tal resposta, estavam localizadas na zona rural do município.

Sendo assim a população residente no meio rural de Pinhal Grande não possuía acesso ao sistema básico de saneamento, havendo em suas casas um conjunto defasado de soluções que podem acarretar doenças.

### 3.3 Fossa Séptica Biodigestora

Cada vez mais o saneamento básico é foco de diversos estudos e inovações para possibilitar uma melhora na qualidade de vida do ser humano e também ao meio ambiente.

O meio rural de municípios é o mais afetado pela carência de infraestrutura para esgotamento sanitário, como é possível ver em Pinhal Grande, o sistema rudimentar de sumidouro ainda é muito utilizado nas moradias. Assim, visando atender às necessidades de tratamento do esgoto rural, há um sistema alternativo de tratamento, que é a fossa séptica biodigestora. A fossa séptica biodigestora foi desenvolvida por Novaes no ano 2000. É um sistema de tratamento do esgoto proveniente de dejetos humanos, cujo intuito é substituir o esgoto a céu aberto e as atuais fossas rudimentares utilizadas em propriedades rurais, em razão dos benefícios que podem ser gerados pela mesma (Novaes *et al*, 2006b).

A partir dos estudos efetuados por Novaes, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (EMBRAPA) desenvolveu o seu modelo de fossa séptica biodigestora em 2014 “Fig. 03”, “sendo um sistema simples desenvolvido para tratar o esgoto dos banheiros de residências rurais com até sete pessoas” (Embrapa 2014 a). O esgoto, nesse sistema, é lançado dentro de um conjunto de três caixas d’água ligadas uma a outra e não no solo, córrego ou rio, prática comumente observada em vários locais do País. Ainda, de acordo com a (Embrapa 2014 b) ”, “ao entrar neste conjunto de caixas d’água, o esgoto é tratado pelo processo de biodigestão que reduz muito a carga de agentes biológicos perigosos para a saúde humana”. Constata-se que o tempo da biodigestão varia conforme a temperatura e a quantidade de pessoas que estão utilizando a fossa, sendo que o líquido que se acumula na terceira caixa d’água da fossa séptica torna-se um biofertilizante rico em nutrientes tais como nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), não contendo microrganismos causadores de doenças para o ser humano e, ainda, possui material orgânico estabilizado. Trata-se de um biofertilizante que pode ser comparado com o esterco pronto, utilizando-o para adubar árvores, milho, capim entre outros.

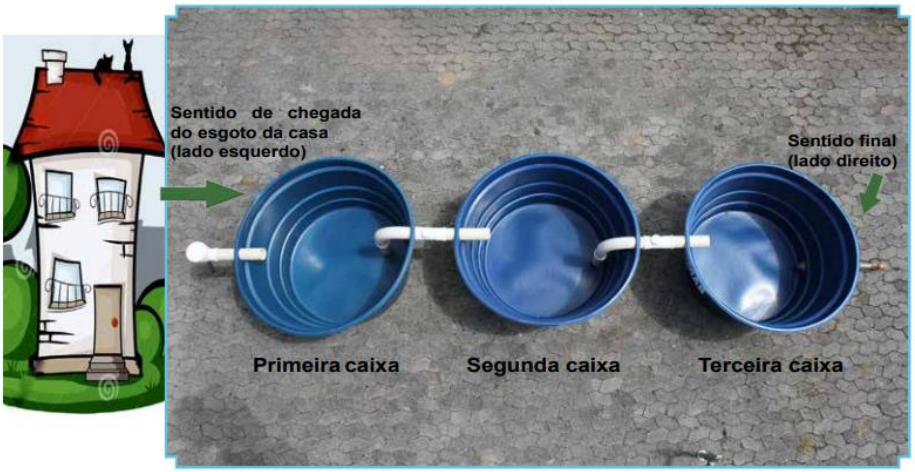



Figura 03 – Sistema de montagem de fossa biodigestor modelo Embrapa – (cartilha orientativa para montagem de fossa Biodigestora da Embrapa, 2014)

Como o sistema da fossa séptica biodigestora funciona sobre um processo de biodigestão anaeróbico. Para que isso ocorra, as caixas são vedadas, não há qualquer problema de proliferação de insetos e animais peçonhentos nos arredores da mesma, o que não ocorre com o sistema de tratamento de esgoto que utiliza o “poço morto” ou sumidouro, que fica exposto próximo a residência, gerando acúmulo de insetos e animais. Assim, conclui-se que a fossa séptica biodigestora é um sistema de tratamento ambientalmente mais favorável para o ambiente rural.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do estudo efetuado, a fossa séptica biodigestora mostra-se como um sistema eficaz, de fácil montagem e implantação nas residências rurais, o qual gera benefícios para a população e tem um baixo custo para o poder público. A solução torna-se possível, primeiro, por meio de parceria entre poder público e residentes rurais, sendo proposta a mediação entre ambos pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), que presta serviços a Prefeitura Municipal de Pinhal Grande e tem fácil comunicação com os agricultores da região.

Para implantação de tal sistema, visando beneficiar ambos os envolvidos (poder público e moradores rurais), sugere-se que o poder público contribua com mão de obra necessária para a realização do trabalho e os agricultores custeiem os materiais necessários para a montagem da fossa biodigestora "Guia 02".

Levando em consideração os materiais utilizados para a instalação da fossa séptica biodigestora, disponível na cartilha feita pela Embrapa, foi possível realizar o levantamento de custo de materiais para implantação deste sistema.

| PRODUTO | QUANTIDADE | VALOR |
|---|---|---|
| ADES. PVC PINCEL 175 GR KRONA | 1 | R$ 12,91 |
| ADAPTADOR COM FLANGE 50MM E 25MM | 2 | R$ 146,23 |
| ADES. SILICONE TRANSPARENTE 260GR | 1 | R$ 16,97 |
| ARAME GALVANIZADO BMG16 500GR | 1 | R$ 10,81 |
| CAP PVC 25MM | 2 | R$ 1,57 |
| CURVA ESGOTO CURTA 90X100MM | 2 | R$ 29,15 |
| REG KRONA ESFERA SOLD 50MM | 1 | R$ 17,36 |
| RESERVATÓRIO POLIETILENO D 1000 LTS | 3 | R$ 1.030,33 |
| TEE ESGOTO D 100X100MM | 2 | R$ 15,73 |
| TIG TUBO HIDRÁULICO 50MM | 0,25 | R$ 19,93 |
| TUBO ESGOTO (D) 100MM KRONA | 0,5 | R$ 26,91 |
| TUBO HIDRÁULICO B 25MM KRONA | 0,5 | R$ 7,91 |
| VALOR TOTAL | | R$ 1.335,81 |

Tabela 2 – Custo De montagem e Instalação fossa séptica modelo Embrapa – (AUTOR)

Analisando os dados sobre a despesa da construção e funcionamento da fossa séptica biodigestora para o morador rural, pode-se observar um baixo custo para sua implantação, também possibilitando ao proprietário fazer uso do esterco, o que facilmente encontra-se nas moradias rurais. Constata-se que é possível fazer uso do líquido resultante da terceira caixa como biofertilizante, de modo a reduzir gastos do agricultor com a compra de fertilizantes, tendo assim uma destinação para o esterco depositado em sua propriedade. Além de tais benefícios a fossa séptica biodgestora também proporciona uma diminuição de insetos, animais peçonhentos e odores próximo das residências, devido a vedação que esse sistema possui.

Por fim, ao implantar esse sistema no meio rural de Pinhal Grande, o poder público poderá disponibilizar um sistema adequado de tratamento de esgoto ao trabalhador agrário, possibilitando uma diminuição nas doenças oriundas de esgoto a céu aberto e, consequentemente, economizando com sua implantação, devido a parceria com os agricultores. Além de possuir um ótimo sistema de tratamento de esgoto na sua residência, o morador rural também evitará possíveis doenças oriundas de esgotos a céu aberto e também contribuirá para a diminuição dos contaminantes depositados no solo.

## 5. CONCLUSÕES

Por meio deste estudo foi possível analisar as problemáticas que cercam a falta de um sistema de esgotamento sanitário eficiente na zona rural de Pinhal Grande, trazendo uma solução economicamente viável aos moradores dessa região, com a utilização da fossa biodigestora que auxilia o meio ambiente, o poder público e o produtor rural, proporcionando melhor qualidade de vida.

Para que se cumpra a Lei N°11445 e haja a universalização do sistema de esgotamento sanitário, é importante a busca por inovação e implantação de sistemas alternativos de saneamento básico para a população e também no auxílio da diminuição de contaminantes no solo.

Este estudo possibilita a busca por mais informações, não se restringindo apenas ao meio acadêmico, mas, sim, proporcionando a sua implantação em diversas residências. Há um impacto social no tocante a questão do esgotamento sanitário, visto se tratar de uma solução viável e sustentável de tratamento para moradores que não residem próximos a grandes centros urbanos, principalmente no município de Pinhal Grande, o qual é o foco deste estudo.

Por fim, é importante ressaltar a grande contribuição que um profissional da área de Arquitetura pode acrescentar no que tange a implantação de um sistema como esse, levando em consideração seus conhecimentos sobre residências e o devido dimensionamento para sistemas de esgotamento sanitário, oferecendo, assim, auxílio na execução e acompanhamento, por meio de seus conhecimentos técnicos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se a Prefeitura Municipal de Pinhal Grande por disponibilizar a documentação necessária para realização deste estudo.

Agradecimentos também a Professora Dra. Mariele Zawierucka Bressan, que auxiliou diretamente na construção deste estudo, contribuindo com seu vasto conhecimento, tornando possível a elaboração do mesmo.

## 7. REFERÊNCIAS

ECIVIL, "Rede coletora, significado de rede coletora", 30 de agosto de 2019. <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-rede-coletora-de-esgotos.html>.

EMBRAPA, 2014, "Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**.** Cartilha como montar e usar fossa séptica modelo Embrapa**. "** 31 de agosto de 2019. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116734/1/Cnpgl-2014-Cartilha-Fossa-Septica-completa.pdf>.

GUILHOTO, 2014, "Saneamento Rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestor", Edição Especial | 2014 | 51-60.

IBGE 2010, "Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades." 30 de agosto de 2019. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pinhal-grande/panorama/>.

NOVAES, 2006, A.P.; SIMÕES, M.L.; INAMASU, R.Y.; JESUS, E.A.P.; MARTINNETO, L.; SANTIAGO, G.; DASILVA, W.T.L. (2006) Saneamento básico na área rural. In: SPADOTTO, C. & RIBEIRO, W. (Org.). Gestão de resíduos na agricultura e na agroindústria. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. p. 262-275.

NASCIMENTO, VIANNA, RAMOS, VILLELA, FRANCISCO, 2015, "A migração do campo para os centros urbanos no Brasil: da desterritorialização no meio rural ao caos nas grandes cidades. " XVI Comércio Internacional Fomerco.

PLANALTO, 2010, "Presidência da República Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010". 31 de agosto de 2019 <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm>.

PLANALTO, 2017, "Presidência da República Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, decreto nº 9.254, de 29 de dezembro de 2017." 31 de agosto de 2019. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9254.htm>.

PLANALTO, 2007, "Presidência da República Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007." 31 de agosto de 2019. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>.

## 8. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# NOSSA CIDADE, NOSSO FUTURO: EXPLORANDO O TRANSPORTE SUSTENTÁVEL NAS CIDADES EUROPEIAS

**Raiane Luiza Balestrin Bez**
**Helen Balestrin**
**Ivana Karine Aver**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
raianebbez@gmail.com, helenbalestrin@hotmail.com, ivanakarine@yahoo.com.br

***Resumo:*** *Este artigo analisa os conceitos de mobilidade urbana no âmbito sustentável e coloca em foco alguns projetos de transporte urbano inovadores na Europa. As políticas da União Europeia exigem uma abordagem coordenada para aumentar a eficácia do planejamento da mobilidade urbana para alcançar metas de proteção climática. Cidades na Europa Central e Oriental possuem uma longa cultura de planejamento com forte foco no transporte público. No entanto, um aumento sem precedentes de automóveis per capita exige estratégias inovadoras para oferecer soluções sustentáveis de transporte para pessoas. Diante disso, este artigo objetiva trazer para o foco duas cidades exemplares que demonstram como o transporte sustentável pode ser mantido e até expandido: Gdynia, na Polônia, e Koprivnica, na Croácia. A metodologia do artigo pode ser classificada como descritiva, baseada na análise de dados secundários. Os resultados do trabalho mostram que a visão de longo prazo de ambas as cidades e sua dedicação em compartilhar ativamente suas experiências com outras cidades têm o potencial para servirem como modelos de planejamento da mobilidade urbana sustentável em cidades brasileiras.*

***Palavras chave:*** *mobilidade urbana, mobilidade urbana sustentável, transporte urbano.*

## 1.INTRODUÇÃO

Discutir a mobilidade urbana das cidades está sendo cada vez mais necessário. Com o crescimento dos centros urbanos e a preocupação com a forma que os espaços estão sendo ocupados, as soluções para as conexões entre regiões se torna um assunto em evidência. Segundo Campos (2006), a mobilidade sustentável pode ser vista por meio de práticas de ocupação do solo e sobre a gestão de transportes a fim oportunizar acesso de qualidade aos bens e serviços para a população atual sem prejudicar as gerações futuras.

Segundo Gudmundsson (2000, apud Costa et al, 2008), a Europa e a América do Norte são precursoras no desenvolvimento de pesquisas sobre um novo conceito de mobilidade sustentável e na implantação de pesquisas e indicadores para a sua monitoração. No caso europeu, o foco dessas medidas está na integração de questões ambientais dentro das políticas públicas presentes nos países. Nos Estados Unidos, os indicadores são desenvolvidos em todos os níveis governamentais, projetando medidas estratégicas pelo mesmo.

No Brasil, a incorporação de conceitos de sustentabilidade ambiental, econômica e social ainda é recente dentro dos projetos de planejamento urbano. De acordo com Costa et al (2008) a análise de indicadores é uma ferramenta de suma importância já que a mesma permite analisar a estrutura das cidades, além de identificar oportunidades e deficiências, levando em conta as estratégias que otimizem a mobilidade sustentável.

A Europa é pioneira no desenvolvimento de soluções para a melhoria da mobilidade dos seus centros urbanos. O planejamento sustentável da mobilidade urbana é um dos temas discutidos pela agenda principal da Europa para superar os obstáculos propostos pelo transporte público dos ambientes urbanos (Deker et al, 2012).

## 2. MÉTODO

De acordo com Deker et al (2012), com o avanço nas soluções tecnológicas de comunicação as pessoas se encontram em situações de profundo entrelaçamento com a maioria das atividades que desenvolvem. Essas mudanças ocorridas ao longo dos anos refletem diretamente na forma como os cidadãos se organizam e como se importam com o meio ambiente. Soluções sustentáveis para o transporte público de qualidade são pioneiras na Europa Central e Oriental, locais onde há uma vasta cultura sobre um planejamento urbano que permita deslocamentos com maior facilidade.

Deker et al (2012) afirma que o planejamento da mobilidade urbana sustentável europeia ainda se encontra em um estágio bastante diversificado. O processo de classificação se distingue em três tipos de países com diversas necessidades de intervenção:

1- Países que já possuem um planejamento de transporte estabelecido;
2- Países que estão em processo de adoção de uma mobilidade sustentável;
3- Países que ainda não estabeleceram nenhum tipo de projeto de planejamento móvel sustentável.

Tomou-se como exemplos para este estudo a Polônia que se encontra na classificação 2 (Países que estão em processo de adoção de uma mobilidade sustentável), e a Croácia, país que se posiciona na classificação 3 (Países que ainda não estabeleceram nenhum tipo de projeto de planejamento móvel sustentável).

A metodologia do artigo pode ser classificada como descritiva, baseada na análise de dados secundários, conforme figura 01.

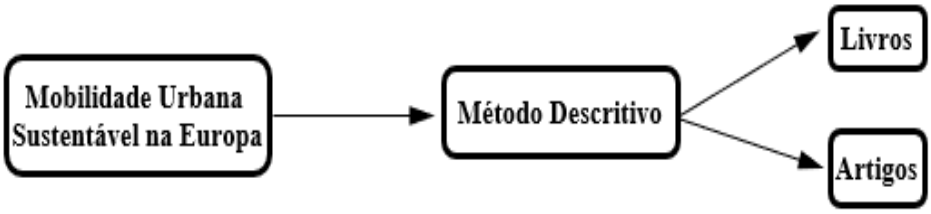



Figura 01: Desenho metodológico da pesquisa
Fonte: Autoras, 2019.

## 3. PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL DA MOBILIDADE URBANA

Esta pesquisa entra em um debate na dimensão urbana, mas principalmente ambiental, umas das principais preocupações dos estudos de mobilidade urbana sustentável. Nas últimas décadas, a visão sobre sustentabilidade se ampliou e começou a considerar em seus indicadores outras dimensões, como a econômica e social. Essas dimensões contribuem para o conhecimento do impacto da sustentabilidade no nível urbano, como por exemplo no estudo da densidade de edifícios, terrenos em uso ou mesmo em organização de layouts urbanos. (Macedo et al, 2017). De acordo com Mega (1996, p. 134 apud Hall, 1993) um dos maiores problemas é a esquizofrenia entre centros urbanos de alta densidade de transportes públicos e a periferia urbana de automóveis, porém o autor também lembra que a cidade é o único organismo vivo que tem capacidade para renovar-se.

Conforme Macedo et al. (2017) documentos como a Agenda 21 e organizações como a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável e a UNESCO, lutaram pela inclusão da dimensão cultural como indicador de desenvolvimento sustentável, uma vez que está diretamente associada ao desenvolvimento e comportamento das diferentes populações do globo. Com isso, quatro dimensões importantes sustentam os pilares da sustentabilidade urbana: ambiental, econômico, social e cultural.

O planejamento sustentável de mobilidade urbana está na agenda principal da Europa para enfrentar os desafios do transporte urbano nas cidades. As políticas da União Europeia exigem uma abordagem coordenada para aumentar a eficácia do planejamento da mobilidade urbana para alcançar metas de proteção climática. As autoridades nacionais e locais exigem orientações comuns sobre o desenvolvimento e implementação de tais planos - com amplo envolvimento de autoridades públicas, profissionais de transporte e pesquisa. Cidades na Europa Central e Oriental possuem longa cultura de planejamento, com forte foco no transporte público. No entanto, um aumento sem precedentes de automóveis per capita exige estratégias inovadoras para oferecer soluções sustentáveis de transporte para pessoas.

Deker (et al, 2012) estudou duas cidades exemplares da região central e oriental da Europa que demonstram como o transporte sustentável pode ser mantido e até expandido. Gdynia, na Polônia, com sua economia em desenvolvimento e população relativamente jovem, faz esforços consideráveis para reduzir demanda de tráfego motorizado na região. A política e estratégia de transporte da cidade está focada na solução de problemas de transportes da cidade de maneira sustentável. Isso abrange o aumento do uso da bicicleta, uma mistura inteligente de diferentes opções de transporte e melhoria da qualidade dos serviços de transportes públicos por meio de informações, tecnologias de comunicação e mecanismos de participação pública.

Koprivnica, na Croácia, é exemplar para inúmeras cidades de médio porte na região com problemas de transporte semelhantes. A cidade trabalha em direção a uma estratégia participativa para o planejamento e gerenciamento de zero emissões de CO2 na periferia da cidade e no transporte urbano. Com a visão de desenvolver um centro de competência regional para a sustentabilidade, o planejamento da mobilidade urbana da cidade atrairá pesquisadores, estudantes e profissionais da área (Deker et al, 2012).

### 3.1.1 CONCEITUAÇÃO DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

Falar de uma cidade sustentável é reconhecer que a mesma precisa atender aos objetivos de diversas esferas (sociais, ambientais, políticas e culturais), além de pensar no bem-estar de seus cidadãos. O ambiente urbano deve operar segundo um modelo de desenvolvimento onde obtenha o balanceamento, de forma eficiente, de todos os seus recursos naturais, suprindo, manuseando e distribuindo todos eles de forma igualitária e competente a fim de construir novos paradigmas de desenvolvimento sustentável (Leite, 2012).

Barcelos et al (2018) afirma que a mobilidade urbana está diretamente ligada à articulação e união das políticas públicas de transporte, de forma que a população possa exercer o seu direito de ir e vir livremente, com agilidade e segurança. Isso somente será possível se as cidades disponibilizarem infraestrutura e ferramentas suficientes para a movimentação, fornecendo transporte de qualidade, seja ele fluvial, rodoviário ou ferroviário, pensados previamente de forma eficiente.

Oliveira (2019) relata que a mobilidade urbana sustentável por vezes precisa se focar em reduzir a necessidade de sistemas de transporte na vida dos cidadãos, de modo a aumentar diretamente as ações humanas. Fazer as pessoas aderirem às caminhadas e a utilizar meios de transporte não mecânicos trará à tona inclusive hábitos mais saudáveis na cidade.

Cidades que possuem sistemas de transportes públicos de boa qualidade refletem significativamente na diminuição de emissão de gases estufa por pessoa e também na sua expansão desmedida. Nos casos europeus onde a densidade dos centros urbanos é alta, andar a pé e de bicicleta acabam sendo os meios de mobilidade preferidos pela maioria dos moradores locais e também por muitos turistas (Leite, 2012).

### 3.2 MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL NA EUROPA

As últimas décadas transformaram a sociedade de uma maneira sem precedentes. O avanço das tecnologias de comunicação se entrelaçam profundamente com quase todas as atividades das pessoas e afetam consideravelmente a maneira como fazemos negócios, como organizamos nossas sociedades e como nos importamos sobre o meio ambiente: os três pilares da sustentabilidade (Deker et al, 2012).

Deker et al (2012) afirmam que, apesar das previsões de que o aumento da comunicação na Internet diminuiria a necessidade de viajar, o setor de transportes é uma das economias que mais cresce na Europa e no mundo. Embora o aumento da eficácia das áreas da eficiência energética das indústrias, habitação e eletrodomésticos, o transporte continua sendo o setor que supera suas economias em emissões de gases de efeito estufa, ruído e poluição do ar.

Nos países da União Europeia os índices de motorização e número de carros particulares per capita dobraram de 1990 até 2012. Por exemplo, na Polônia, o número de automóveis registrados aumento mais de 10% entre os meses de setembro de 2007 e março de 2008 (Deker et al, 2012, p. 2749 apud European Comission, 2010), e o aumento da taxa de motorização individual excedeu 450/1000 habitantes em 2010 (Deker et al, 2012, p. 2749 apud Polish Statistical Office, 2012).

Áreas de pedestres, restrição de acesso nas cidades centrais e baixa zonas de emissão combinadas com ofertas atraentes de transporte público, são medidas exemplares que as administrações se comprometem para aumentar a qualidade de vida em suas cidades. Novas tecnologias como modelagem de ferramentas, aplicativos e o aumento da eletromobilidade oferecem novas chances de maior qualidade de planejamento de mobilidade. Os cidadãos usam cada vez mais as redes sociais e redes para planejar e participar de forma participativa nos processos de tomada de decisão (Deker et al, 2012).

#### 3.2.1 BREVE HISTÓRICO DO PLANEJAMENTO DA MOBILIDADE URBANA NA EUROPA

A necessidade da participação ativa de todos os setores da sociedade nas consultas e decisões relacionadas ao desenvolvimento sustentável e ao planejamento do futuro das cidades já foram formulados no Relatório Brundtland em 1987. Logo, se reconheceu que o planejamento da mobilidade sustentável precisava complementar os processos da Agenda 21 local para lidar com os impactos do crescente tráfego nas cidades (Deker et al, 2012).

Na Europa, alguns países adotaram desde o início políticas abrangentes de planejamento de transporte para orientar cidades desenvolvendo e implementando tais planos. Por exemplo, França e Inglaterra estabeleceram legislações para tornar tais planos obrigatórios (Deker et al, 2012).

Deker et al (2012) afirmam que a partir de 1982, os planos de transporte urbano (*plans de déplacements urbains*, PDU) tornaram-se obrigatórios nas cidades francesas com mais de 100.000 habitantes. O objetivo dos PDUs é garantir um equilíbrio entre as necessidades de transporte das pessoas, proteção ambiental e aspectos de saúde. Os PDUs geralmente abrangem um período de 5 a 10 anos, seguidos de revisão e estabelecimento de uma nova geração de PDU. Afirmam também que na Inglaterra, os planos locais de transporte (LTP) são planos estatutários decorrentes da Lei de Transportes de 2000. Eles delineiam a linha de base atual em relação a transporte, acessibilidade e meio ambiente; definem desafios, mas com objetivos alcançáveis, desenvolvem um programa para alcançar esses objetivos, e os apresentam às autoridades nacionais.

No nível europeu, várias iniciativas foram desenvolvidas para promover a ampla introdução de planejamento de mobilidade urbana. As cidades da União Europeia, reunidas nos projetos BUSTRIP e PILOT, discutem e desenvolvem diretrizes comuns, treinamento, além de conceitos e estratégias de divulgação (Deker et al, 2012, p. 2749 apud Thematic Strategy on the Urban Environment, 2006)

A importância desses planos é estabelecida no Livro Branco sobre Transportes *(Transport White Paper)*, de 2011, exigindo que "as cidades sejam encorajadas a desenvolver planos de mobilidade urbana "e examinar" a possibilidade de uma abordagem obrigatória para cidades de um certo tamanho, de acordo com as normas nacionais baseadas nas diretrizes da UE " e, assim, planos de mobilidade para os fundos regionais de desenvolvimento urbano (Deker et al, 2012).

### 3.2.2 DIRETRIZES DE PLANEJAMENTO URBANO NA UNIÃO EUROPEIA

O planejamento da mobilidade urbana sustentável é um processo bastante diversificado e, embora a transferência de experiências por meio dos planos locais de transporte, o treinamento nas diferentes partes da Europa é difícil. A Comissão Europeia está apoiando e divulgando diversos projetos urbanos sustentáveis, com o objetivo de facilitar um processo de aprendizado e intercâmbio de tais planos entres as cidades europeias e autoridades regionais e nacionais (Deker et al, 2012).

Um dos conceitos que auxiliam no desenvolvimento dos objetivos da UE é o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (SUMP).O mesmo traz propostas e discussões sobre os desafios relacionados ao transporte de maneira mais sustentável, integrada e abrangente. O plano também leva em consideração o objetivo de atender as necessidades das pessoas e empresas, propondo melhorias na qualidade de vida da população (Wefering et al, 2013).

De acordo com Przybylowski (2018) O Pacote de Mobilidade Urbana de 2013 estabelece um conceito de Planos de Mobilidade (SUMPs) que surgiram de uma integração entre partes interessadas e especialistas em planejamento em toda a União Europeia. O conceito abrange as principais características e conceitos de uma mobilidade urbana moderna e sustentável, além de falar sobre plano portuário. Sendo assim, o SUMP é um documento que engloba tanto áreas urbanas quanto suburbanas. O plano leva em consideração as necessidades de cada área especificada, como as questões de transporte em todas as modalidades, segurança, logística, além da implementação de novos padrões de uso consciente de recursos limpos e da utilização de combustíveis limpos em veículos.

Conforme figura 01, distingue-se os países da UE no processo de planejamento urbano em três tipos de necessidades de intervenção:

1. Países que possuem uma estrutura de planejamento de transporte bem estabelecida (a);
2. Países que estão adotando uma abordagem para o planejamento de mobilidade sustentável (b);
3. Países que ainda não adotaram um planejamento de mobilidade sustentável (c);

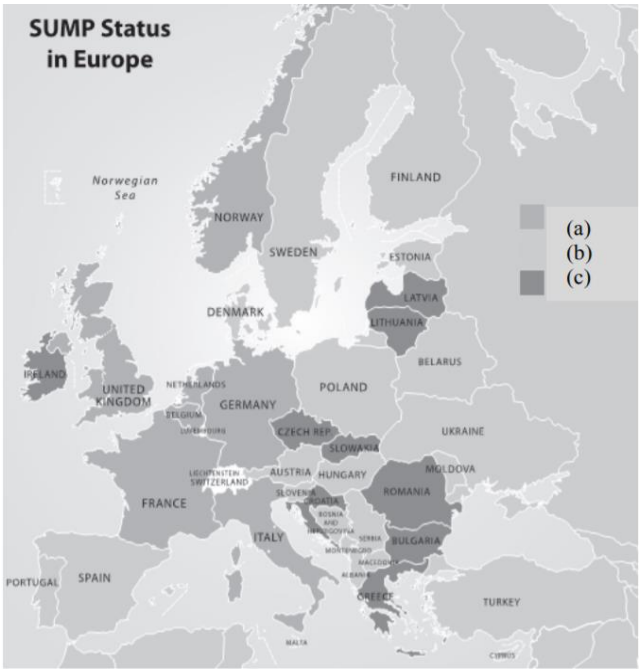



Figura 01: Processo de planejamento urbano na UE.
Fonte: Deker et al, 2012.

Segundo Deker et al (2012), lições de cidades experientes mostram que os processos de planejamento participativo trazem mais eficiência para o planejamento e gestão de transporte urbano. O crescente interesse das cidades nas regiões central e oriental da Europa, neste novo paradigma de planejamento, levanta uma série de novas questões e apela à necessidade de novas pesquisa em várias disciplinas.

De acordo com Deker et al (2012), embora os planos de transporte tradicionais sejam predominantemente construídos com base em pesquisas tecnológicas, o planejamento da mobilidade sustentável requer uma abordagem muito mais ampla, envolvendo ciências comportamentais e economia. Antes que mais educação acadêmica sobre mobilidade sustentável ocorra, as cidades terão que aprender através intercâmbio mútuo de experiências e aprendizado. Os exemplos de Gdynia e Koprivnica demonstram a tendência em direção a novas abordagens de planejamento e gerenciamento da mobilidade urbana.

### 3.2.3 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE URBANO SUSTENTÁVEL EM GDYNIA, POLÔNIA

Uma das cidades polonesas em mais rápido desenvolvimento é Gdynia, uma cidade portuária com quase 250.000 habitantes. Está situado na parte norte da Polônia, junto ao Mar Báltico, conhecida como tri-cidade, resultado da conurbação urbana com as cidades de Gdansk e Sopot (no total mais de 1,2 milhão de habitantes) (Deker et al, 2012).

As autoridades de Gdynia adotaram o Plano de Mobilidade Sustentável (SMUP). O plano leva em consideração os princípios de participação, integração e avaliação, bem como baseia-se nas práticas atuais do planejamento da mobilidade urbana. Gdynia é um importante nó de transporte europeu com conexões marítimas aos portos da Europa e do mundo. É o mais importante componente portuário do norte da Polônia e simultaneamente do mar Báltico do Sul, não só com uma influência regional, mas internacional (Przybylowski, 2018).

Alguns objetivos do desenvolvimento sustentável dos transportes urbanos não podem ser alcançados sem colocar Gdynia como uma região metropolitana. Isso está relacionado às inúmeras funções do papel do porto e da indústria de construção naval localizada na cidade. Na área urbana, complexas relações são formadas entre meio ambiente, sociedade e economia. O desenvolvimento dinâmico de portos marítimos (em especial terminais de contêineres) é um fator importante para estimular o desenvolvimento econômico (Przybylowski, 2018).

Prybylowski (2018) afirma que o dinâmico desenvolvimento de Gdynia, ligado à intensificação dos processos de suburbanização, criam problemas com impacto no espaço público, qualidade de vida dos habitantes e meio ambiente. Os problemas mais importantes incluem aumento do congestionamento, resultando em velocidade de deslocamento reduzida e domínio de automóveis de passageiros em viagens, fortalecidos por processos de suburbanização descontrolados.

#### 3.2.3.1 SITUAÇÃO DO TRANSPORTE URBANO

O transporte público, com 50,4%, ainda é o modo preferido, seguido pelo transporte privado (automóvies) com 48,7%. O ciclismo atinge apenas 0,9%. Hoje, o sistema de transporte urbano de Gdynia, baseado em ônibus, trólebus e trens suburbanos pode ser descrito como verde, eficiente e acessível. Por exemplo, 77% de todos os cidadãos vivem dentro de cinco minutos de distância até uma parada de ônibus. Os veículos e a rede são sistematicamente modernizados para fornecer a melhor qualidade para os passageiros. Os operadores de transporte público da cidade fazem consideráveis esforços para aumentar a competitividade e a qualidade do serviço prestado, não apenas respeitando as demandas da comunidade, mas também operando veículos ecológicos. (Deker et al, 2012).

Deker et al (2012) mostram que o objetivo é reduzir poluição ambiental causada pelas emissões de chamas da exaustão e a diminuição do nível de ruído na área e, portanto, garantir uma melhor qualidade de vida para os habitantes da cidade. A cidade investe em veículos limpos para o transporte operado na cidade, principalmente a moderna frota de trólebus (25% do total veículos de transporte público) e ônibus a GNV (5% da quantidade total de veículos de transporte público). Isso inclui também a conversão de ônibus a diesel usados em trólebus para obter a frota mais eficiente da Polônia.

A política de transporte da cidade é principalmente orientada para resolver os problemas de mobilidade mais relevantes de maneira sustentável. Isso inclui a melhoria dos serviços de transporte público, a integração de diferentes modos de transporte, privado e público, integração com o sistema de transporte público das cidades vizinhas e aumento do uso da bicicleta (Deker et al, 2012).

A cidade participa de programas como "Desenvolvimento de pro-transporte público ecológico na região metropolitana de Tricity", implicando a aquisição de trólebus com baterias de tração e modernização da rede, e o "Desenvolvimento do Ciclismo na aglomeração das três cidades". Juntamente com a cidade de Gdansk e Sopot, uma planejada rede moderna de ciclismo, dos quais 37 Km de ciclovias e infraestrutura construídos tranformam as três cidades em uma só (Deker et al, 2012).

#### 3.2.3.2 PLANEJAMENTO DE MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

No que diz respeito às questões de mobilidade urbana sustentável, os documentos legais locais mais relevantes para a cidade de Gdynia incluem a Estratégia de Desenvolvimento da Cidade de Gdynia, o Estudo de Condições e

Perspectivas do Desenvolvimento Espacial das Cidades, os Atos de Desenvolvimento Espacial, os Documentos de Política de Transporte e o Plano de Transporte Público. (Deker et al, 2012)

O projeto BUSTRIP, financiado pela UE, fornece a visão e inclui os objetivos a serem alcançados, bem como as atividades a serem realizadas no que diz respeito ao transporte urbano sustentável. A visão assume o desenvolvimento de um sistema de transporte integrado e sustentável, de maneira que os habitantes da cidade tenham possibilidade de viver, passar o tempo livre e viajar em um ambiente seguro, amigável e saudável, e, assim, reduzindo a necessidade de transporte (Deker et al, 2012).

O plano também aborda condições para a eficiência, segurança e circulação de pessoas e bens, introduzindo sistemas de transporte facilitadores, fortalecendo a estratégia de estacionamentos pagos, desenvolvendo conceitos de gerenciamento de mobilidade e otimizando entregas, reduzindo simultaneamente impactos ambientais negativos do transporte público através de veículos de transporte público limpos (Deker et al, 2012).

### 3.2.4 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE URBANO SUSTENTÁVEL EM KOPRIVNICA, NA CROÁCIA

Koprivnica, com seus 33.700 habitantes, é o centro administrativo do condado de Koprivnica-Krizevci e o motor regional do desenvolvimento econômico no noroeste da Croácia. A economia da região é tradicionalmente baseada na agricultura e produção de alimentos. O rápido desenvolvimento da cidade começou com sua industrialização na década de 1960, com um aumento constante da população à taxa de 4% em uma década. Isso destaca Koprivnica de todas as cidades da região, incluindo a capital nacional, Zagreb. Hoje, a cidade está se transformando em uma sociedade baseada no conhecimento educacional e serviços culturais que oferece a sua crescente população. Atualmente, a cidade está desenvolvendo o conceito de uma nova universidade regional para 5.000 alunos (Deker et al, 2012).

#### 3.2.4.1 SITUAÇÃO DO TRANSPORTE URBANO

Segundo Deker et al (2012), as posições geográficas da Koprivnica, entre dois importantes corredores de transporte europeus, bem como o desenvolvimento de indústrias de importância nacional, ajudaram o rápido desenvolvimento da cidade. Por outro lado, um número crescente de passageiros está levando a um aumento dramático do congestionamento do tráfego e, portanto, deterioração do meio ambiente. Hoje, o nível de posse de carro per capita alcançou a terceira posição no país. O desenvolvimento planejado das novas instituições de ensino aumentará a necessidade de mobilidade na cidade e na região. Ainda não existe um sistema formal de transporte público.

De acordo com três pesquisas de tráfego de 2012, 64% de todas as viagens são feitas de carro particular. A maioria dos transportes públicos é vista como o maior obstáculo para tornar o transporte local mais sustentável. O transporte público é apenas de ônibus escolares e industriais. Enquanto isso, os serviços ferroviários e regionais não são integrados e não operam dentro da cidade (Deker et al, 2012).

Para conter o aumento do uso de carros particulares, dois programas de mobilidade sustentável chamados “Cidade em Movimento” e “Ruas para Pessoas”, implementadas na cidade entre 2002 e 2009, resultaram na alta porcentagem de mais de 40% de ciclistas e pedestres no centro da cidade (Deker et al, 2012).

As políticas de mobilidade da cidade possibilitaram a construção de uma extensa rede de ciclovias e trilhas para pedestres. Utilizando a European Mobility Week (EMW) como uma oportunidade para apresentar novas medidas e monitorar o sucesso das políticas existentes, a cidade de Koprivnica alcançou um alto reconhecimento por ganhar o prêmio EMW em 2007. Existem mais de 80 Km de trilhas para ciclismo / trilhas para pedestres dentro da cidade e mais de 70 Km de ciclovias nos arredores. Além de melhorias regulares de pedestres, uma rede de caminhos de saúde de Koprivnica foi estabelecida nos últimos anos (Deker et al, 2012).

#### 3.2.4.2 PLANEJAMENTO DE MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

Koprivnica dedica-se aos princípios abrangentes da Agenda 21, envolvendo seus cidadãos com o slogan: “Koprivnica - Grande Cidade Pequena: grande o suficiente para suprir todas as necessidades dos cidadãos em áreas de trabalho, habitação, educação, saúde, mobilidade, segurança, cultura, esportes e entretenimento e pequena o suficiente para que cada cidadão possa contribuir para o bem-estar da comunidade ”(Deker et al, 2012).

O Conselho da Cidade adotou uma ação de energia sustentável muito ambiciosa, estabelecendo o objetivo de reduzir as emissões de CO2 em 50% até o ano 2020. A cidade adotou a Declaração de Passividade, confirmando sua intenção de construir todos os edifícios públicos como passivos ou altamente energeticamente eficientes (categoria A +) e já construiu uma nova escola de comércio eficiente de energia e os primeiro blocos passivos de 28 apartamentos, transformando toda uma nova área residencial em uma “zona de emissão zero” (Deker et al, 2012).

Segundo Deker et al (2012), os processos de participação pública na cidade incluem todas as categorias de cidadãos e respeitam as necessidades dos idosos e das pessoas com deficiência. O Fórum Ambiental, estabelecido na Agenda 21 ainda está ativamente envolvido e atualmente revisa os resultados. A Câmara Municipal incentiva que a participação de órgãos profissionais, Conselho de Negócios e Conselho de Comércio estejam ativamente envolvidos no desenvolvimento do planejamento estratégico. A implementação do desenvolvimento estratégico é percebida como uma tarefa comum para todos eles e seu interesse ativo na avaliação dos projetos é encorajada.

Deker et al (2012) afirmam também que a visão mais importante de Koprivnica é o desenvolvimento de um Plano de Mobilidade Urbana Sustentável e com base em múltiplas parcerias. Será a base para novos investimentos na melhoria do sistema de transporte da cidade, resultando em um aumento promissor de modos de mobilidade branda.

Koprivnica está planejando um corredor de inovação que incluirá a linha ferroviária local que conecta os limites da cidade norte e sul, bem como a zona industrial e o futuro campus universitário. O terminal integrado de transporte público será o ponto de partida para os ônibus elétricos para o transporte dentro da cidade. No coração da cidade, dentro da rota planejada de transporte público, fica a zona de emissão zero de transporte planejada na qual o novo serviço de entrega de mercadorias será testado (Deker et al, 2012).

O campus da nova Universidade Koprivnica é planejado como uma zona de emissão zero, que incluirá soluções de transporte inovadores, como conectar instalações de bicicletas com outros modos sustentáveis. Um foco é colocado nas necessidades de mobilidade de futuros estudantes universitários atendidos da maneira mais inovadora, através da dinâmica processo de planejamento envolvendo participação do público (Deker et al, 2012).

O novo campus da universidade não se tornará apenas uma área modelo de soluções inovadoras de transporte, mas também está em andamento o desenvolvimento de currículos para ensinar mobilidade sustentável na universidade e estabelecer um centro de competência em todo o país. A visão do futuro é estabelecer um centro acadêmico em toda a região e tornar Koprivnica o ponto central entre Europa Ocidental e do Sudeste.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Falarmos de mobilidade urbana sustentável é sem sombra de dúvidas um dos assuntos mais importantes dos últimos anos, visto que uma cidade sustentável precisa pensar no bem-estar e na qualidade de vida de seus habitantes e, para isso, pensar em como cada área do espaço urbano será acessível para quem ali habita.

O Brasil ainda precisa de muito para alcançar patamares exemplares no planejamento da mobilidade das suas cidades, mas está no caminho. Portador de um território grandioso, é composto por diversas cidades com diferentes níveis de qualidade de acessos. Quando comparado às duas cidades europeias Gdynia e Koprivnica, podemos concluir que o mesmo se encontra entre os dois casos citados, possuindo uma mobilidade urbana sustentável começando a se desenvolver lentamente, mas com grande expectativa de boas soluções.

Cidadãos cientes de suas escolhas e participativos dentro das decisões tomadas em suas cidades, contribuem para ambientes urbanos melhores. Políticas públicas de qualidade aliadas ao desenvolvimento tecnológico auxiliam diretamente na implantação de ideias que agreguem positivamente nos centros urbanos.

Por fim, conclui-se que para termos cidades com mobilidade sustentável, precisamos muito mais que bicicletas, caminhadas, transportes públicos e acessibilidade, precisamos melhorar culturalmente e estarmos abertos a soluções inovadoras. As contribuições da população aliada às boas decisões governamentais resultam em novos caminhos brilhantes para a tão sonhada mobilidade sustentável.

## 5. REFERÊNCIAS

Barcelos, L. R., Silva N. R. da L.. 2018. "Mobilidade urbana no Brasil: um direito social". VirtuaJus, Belo Horizonte, v. 3, n. 5, p. 133-152, 2º sem. 2018.

Campos, V. B. G. 2006. "Uma visão da mobilidade urbana sustentável". *Revista dos Transportes Públicos*, v. 28, n. 110, p. 99-106, abr./jun.

Costa, M. da S, Ramos, R. A. R., Silva da, R. N. A. 2008. "Um índice de mobilidade urbana sustentável". Tese (Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em:doi:10.11606/T.18.2008.tde-01112008-200521. Acesso em: 2019-08-31.

Decker, B., Hecimovic H., Wolek M. 2012."Sustainable Urban Mobility Planning in Central Eastern Europe: case example of Poland and Croatia". *Transport Research Arena Europe - 2012*. Disponível em: doi: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1244. Acesso em: 2019-08-31

European Commission, 2010. "Energy and Transport in Figures". European Union, 2010. ISBN 978-92-79-13815-7 doi: 10.2768/19814. Acesso em: 2019-08-31.

Gudmundsson, H., 2000. "Indicators and Performance Measures for Transportation, Environment and Sustainability in North America". Report from a German Marshall Fund Fellowship 2000 individual study tour October 2000. National Environmental Research Institute, Denmark. Hall, P. 1988. "Cities for Tomorrow" B. Blackwell, Oxford; also IFHP (1993), "Cities for Tomorrow", working papers of the 80th International Congress, Helsinki.

Koprivnica, A. 2018. “Sustainable Urban Mobility Planning: Gdynia city case study”. *Ekonomia i Prawo. Ecomomics and Law*, v 17, n 2, jun/2018. Disponível em: doi:10.12775/EiP.2018.014. Acesso em: 2019-08-31.

Leite, C. 2012. “Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano”. Porto Alegre: Bookman, 264 p. ISBN 9788577809653.

Macedo, J., Rodrigues F., Tavares F. “Urban sustainability mobility assessment: indicators proposal”. 9*th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings*, Chania, Crete, Greece, jul/2017. Disponível em: doi: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.569. Acesso em: 2019-08-31.

Mega, V. 1996. “Our city, our future: Towards sustainable development in European cities”. I I E D-int Inst Environment Development, C/O Environment Urbanization, 3 Endsleigh St, London, England. Disponível em: doi: 10.1177/09562478960080011. Acesso em: 2019-08-31.

Oliveira, R. de. “Mobilidade urbana sustentável e engenharia”. *Brazilian Journal of Development* v. 5, n. 1, p. 1533-1546, jan. 2019.

Przybyłowski, A. (2018). Sustainable urban mobility planning: Gdynia city case study. Ekonomia i Prawo. Ecomomics and Law, 17(2): 195–209. doi:10.12775/EiP.2018.014.

Wefering, F., Rupprecht, S., Bührmann, S., & Böhler-Baedeker, S. (2013). “Developing and implementing a sustainable urban mobility plan”. *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan.* v 2. 2018. Disponível em: http://www.eltis.org. Acesso em: 2018-31-08.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA UTILIZAÇÃO DE TELHADO VERDE EM UMA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO ESTRUTURA APORTICADA

**Lucas Carvalho Vier, Guilherme Jordão Cardoso, Fábio Augusto Henkes Huppes, João Pedro Endres, Rodrigo Henryque Reginato Quevedo Melo**
Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Campus I, Km 171, BR 285, Bairro São José, C. P. 611, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS, Brasil.
180293@upf.br; 180291@upf.br; 180290@upf.br; 132313@upf.br; rodrigohquevedo@gmail.com

***Resumo:*** *A cobertura verde gera diversos benefícios, não somente ambientais, mas também traz conforto térmico para as edificações diminuindo o consumo de energia elétrica. Além disso, a cobertura verde contribui para evitar enchentes. O presente estudo tem como objetivo verificar a viabilidade econômica para implantação da cobertura verde em uma edificação com estrutura aporticada. A pesquisa foi realizada tendo por base uma edificação unifamiliar da cidade de Horizontina – RS. Inicialmente com base no projeto estrutural dessa habitação, a qual possui cobertura convencional, foi realizado um novo projeto estrutural utilizando cobertura verde. Com os projetos finalizados, foi elaborado o orçamento para as residências em estudo, sendo possível verificar que o custo do conjunto estrutural com o telhado verde foi muito próximo ao do telhado convencional.*

***Palavras chave:*** *Concreto armado, Sustentabilidade, Dimensionamento Estrutural.*

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades geralmente surgem de forma espontânea em vários países, e trazem consigo muitos problemas urbanos. O crescimento totalmente desordenado das cidades ocorre pela falta de estratégias específicas e definidas para garantir o controle do crescimento e a expansão da malha urbana (Lima, 1998).

A aglomeração de pessoas nas áreas urbanas, exige cada vez mais construções de edifícios, casas e calçadas, diminuindo de forma crescente as áreas verdes (Righi, 2016).

Segundo Antunes (2009), na construção civil esse tema vem ganhando destaque devido ao grande impacto ambiental gerado pelo setor, sendo que a construção civil é responsável por consumir cerca de 50% de todos os recursos naturais gerados no planeta e que grande parte dessa porcentagem são recursos não renováveis.

Na busca por minimizar esses impactos gerados pela construção civil, estão se desenvolvendo diversas técnicas de construções sustentáveis. Dessa forma segundo Righi (2016), o telhado verde é uma técnica sustentável, pois tem como função principal, aumentar a área verde nos grandes centros.

O telhado verde vem sendo um dos temas mais discutidos por arquitetos e engenheiros nos últimos anos, em função da tentativa de empregar o sistema construtivo como uma forma de inovação sustentável na construção civil. Segundo Ferraz (2012), embora esse tipo de cobertura não seja muito empregado no Brasil, vários estudos trazem bons resultados justificando a sua utilização.

Para esse sistema construtivo existem diversos nomes conhecidos: telhados vivos, cobertura verdes, green roof, biocoberturas, ecotelhados e coberturas verdes (Ohnuma Junior, 2008).

Essas diversas expressões citadas, significam de forma geral, "utilizar vegetação sobre coberturas de edifícios e edificações de médio e pequeno porte". Segundo Lima, Barroca e Oliveira (2009), nesse sistema deve conter camadas de impermeabilização e drenagem adequadas, para garantir as melhorias desejadas em relação ao conforto termoacústico e estético nos grandes centros.

Diversos são os benefícios gerados por esse tipo de cobertura. De acordo com Minke (2004), além da redução de temperatura na edificação as coberturas verdes também apresentam os seguintes benefícios:

- Forma superfícies absorventes de água podendo evitar enchentes;
- Através da fotossíntese produz oxigênio;
- Diminui a formação de ilhas de calor;
- Protege a estrutura de fatores desgastantes como insolação e intempéries;
- Melhoria na qualidade de vida dos usuários;
- Cobertura pode ser utilizada como um espaço de recreação e lazer.

Para garantir que o sistema cumpra com os objetivos de conforto e arquitetônicos, o projetista deve preocupar-se com diversos fatores. Segundo Ferraz e Leite (2011), esses fatores são: o tipo de impermeabilização escolhida, o tipo de camada de drenagem, a escolha do substrato para garantir a sobrevivência das espécies de vegetações. A escolha das espécies vegetais também é importante, visto que as mesmas devem ser implementadas em regiões adequadas ao seu clima.

Apesar de diversas pesquisas realizadas atualmente no país, a fim de incentivar a utilização do telhado verde, o mesmo não está sendo aceito pela população como uma alternativa inovadora devido ao pouco conhecimento que infelizmente ainda se tem do sistema. Segundo Shikota, Silva & Valentim (2016), há pouca bibliografia a respeito desse método construtivo. Dessa forma as empresas que trabalham nessa área, procuram estar em constante aprendizado na busca de novos materiais, sendo que para isso, a participação em pesquisas e seminários e de extrema importância para ampliar o conhecimento sobre o assunto.

Outro problema para alavancar a utilização da cobertura verde no país é o investimento inicial para obtenção do sistema. De acordo com Beatrice (2011), o investimento é variável em função da necessidade ou da viabilidade de implantação conforme os benefícios visados.

Segundo Spangenberg (2004), o custo benefício de implantar a cobertura verde compensa. Em sua pesquisa em convênio com a Universidade de São Paulo, foi possível constatar que através da utilização de telhados verdes em grande escala pode-se reduzir entre $1^0$ C e $2^0$ C da temperatura nas grandes cidades.

Em um estudo realizado em edifícios que possuem telhados verdes no centro da cidade de São Paulo, mostrou que esse sistema construtivo reduz a temperatura média em até 5,3°C, além disso, a umidade relativa do ar aumentou em 15,7% (Catuzzo, 2013).

De acordo com Hydrotec Membrane Corporation (2007), os telhados verdes podem ser concebidos com diferentes conceitos, com relação ao tipo de uso previsto e de vegetação que vai comportar. Costuma-se separar os diferentes tipos de telhados verdes em duas grandes categorias: os sistemas extensivos e sistemas intensivos.

As coberturas extensivas, são mais simples, tem um investimento inicial menor para implantação do sistema, além de ter baixa manutenção. Esse modelo de cobertura é indicado para vegetação de pequeno porte, tendo uma espessura de substrato entre 8 e 12 cm (Tavares et al, 2014). Além disso, esse tipo de cobertura tem grande durabilidade, sendo estimada em 30 anos, também tem como vantagem as inclinações aceitáveis da cobertura que variam entre 0° e 30° (Köehler, 2001 apud Nascimento, 2008).

Mesmo com diversos benefícios, o sistema muitas vezes não é empregado, pois tem como desvantagem a impossibilidade de acessos a coberturas extensivas como sendo espaços de contemplação e recreação (Johnston; Newton, 2004).

Na busca por minimizar esses impactos gerados pela construção civil, estão se desenvolvendo diversas técnicas de construções sustentáveis, visto que segundo Righi (2016), o telhado verde é uma técnica sustentável, pois tem como função principal, aumentar a área verde nos grandes centros. Dessa forma, o objetivo do presente estudo é verificar a viabilidade econômica de realizar a implantação de cobertura verde por meio da utilização de estrutura aporticada para suporte das cargas.

## 2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada com base em uma residência no município de Horizontina – RS que contém uma área de 125,58m². Para realizar o presente estudo, manteve-se o projeto arquitetônico e o projeto estrutural da edificação em estudo, posteriormente acrescentou-se as cargas de telhado verde, mantendo as dimensões do projeto estrutural de cobertura convencional, para alterar apenas os elementos que não atenderam os critérios de dimensionamento. Com os resultados obtidos realizou-se o levantamento dos quantitativos de materiais para a estrutura, também os materiais e mão de obra para construção das coberturas e fez-se o comparativo.

A Figura 1 apresenta a planta baixa da edificação e a Figura 2 apresenta a imagem 3d da edificação.

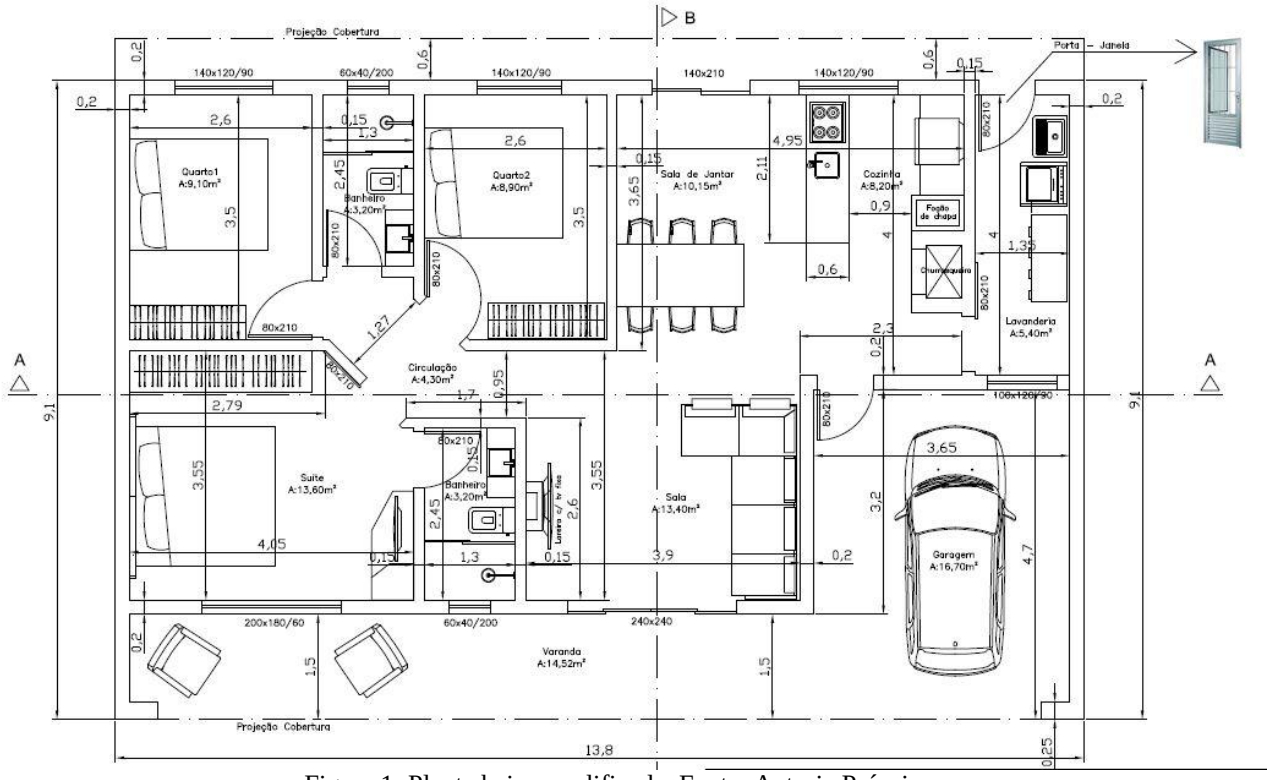



Figura 1: Planta baixa modificada. Fonte: Autoria Própria



Figura 2: Projeto 3D. Fonte: Autoria Própria

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a obtenção do projeto arquitetônico e estrutural para cobertura convencional, elaborou-se o projeto estrutural para cobertura verde, considerando as mesmas dimensões como também as ligações entre pilares e vigas. Os projetos estruturais para ambas as coberturas foram elaborados com estrutura de concreto armado, sendo constituído de lajes treliçadas, vigas, pilares e fundação do tipo sapata. A estrutura foi modelada e calculada com o auxílio do software EBERICK. A Figura 3 e a Figura 4 apresentam a planta de cobertura do projeto convencional e do telhado verde, respectivamente.

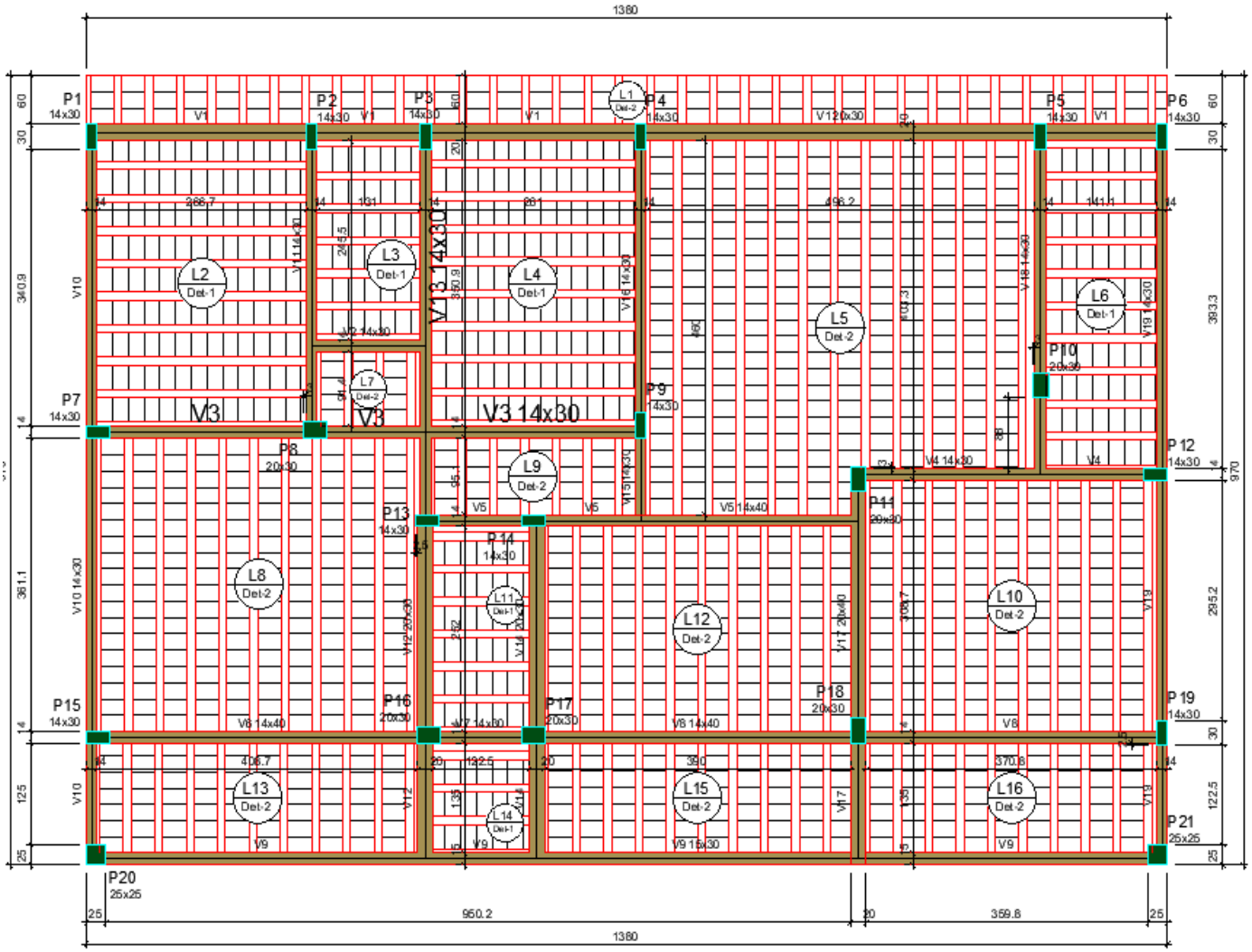



Figura 3: Projeto estrutural do projeto para cobertura convencional. Fonte: Autoria Própria

A Figura 3 apresenta a planta de cobertura da edificação considerando telhado convencional. O conjunto estrutural do projeto original, ao qual foi mantido para comparação com o sistema de cobertura verde é composto por 21 pilares, 19 vigas e 16 lajes. A Figura 4 apresenta a planta de cobertura da edificação para telhado verde, onde são apresentadas as únicas modificações no projeto estrutural desse telhado em relação a cobertura convencional.

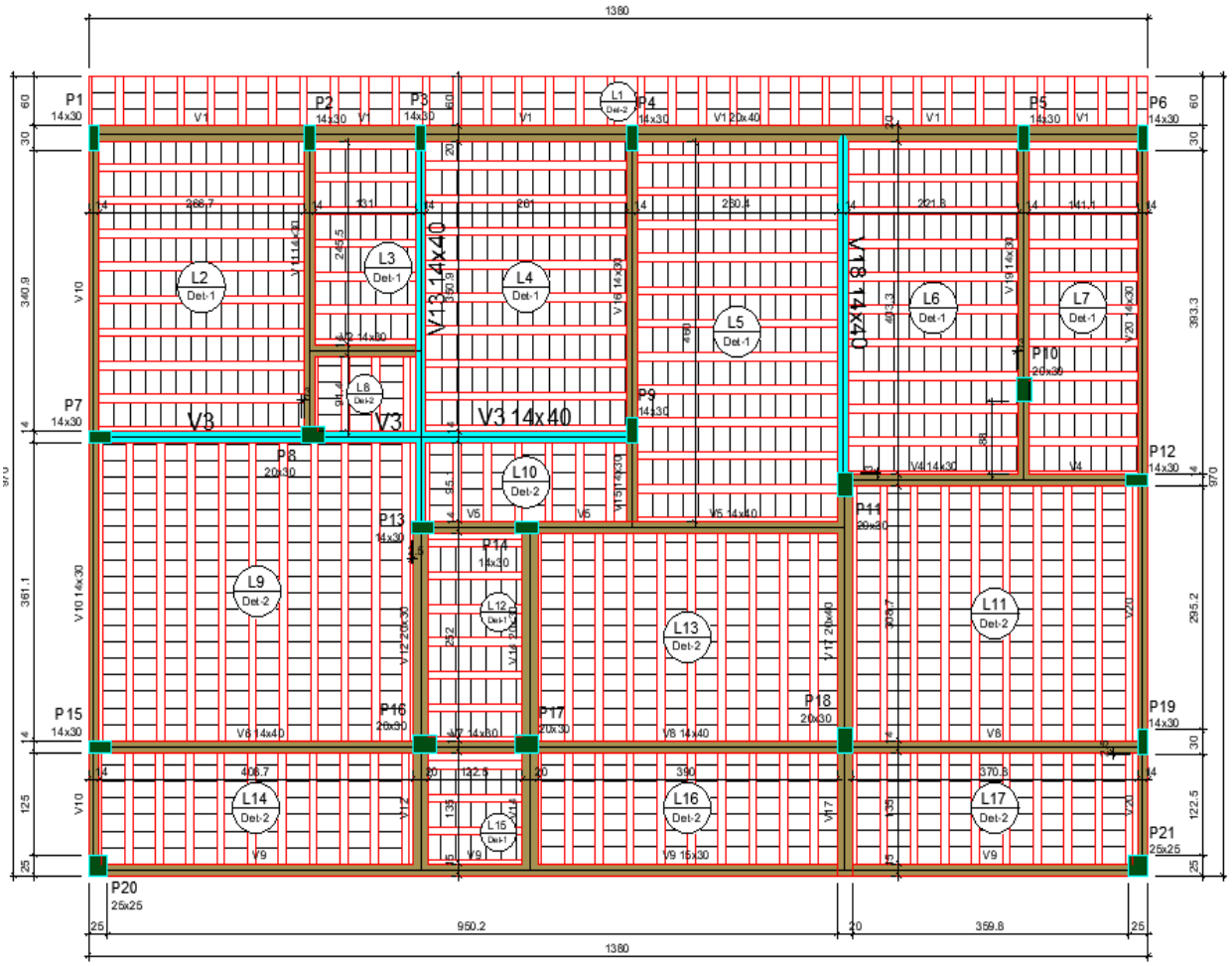



Figura 4: Projeto estrutural do projeto para cobertura verde. Fonte: Autoria Própria

Conforme a Figura 4, foi mantido o mesmo conjunto estrutural da edificação com cobertura convencional, porém houve a necessidade de acrescentar uma viga devido ao grande vão da laje 5, dessa forma, foi dividido essa laje em laje 5 e laje 6 mudando a direção das vigotas. Também foi necessário aumentar a altura das vigas V3 e V4. Com as modificações realizadas, e o correto dimensionamento dos elementos, foi possível gerar os quantitativos para verificação do custo. A Figura 5 apresenta o comparativo do custo de aço total para as vigas, pilares, lajes e para as fundações.

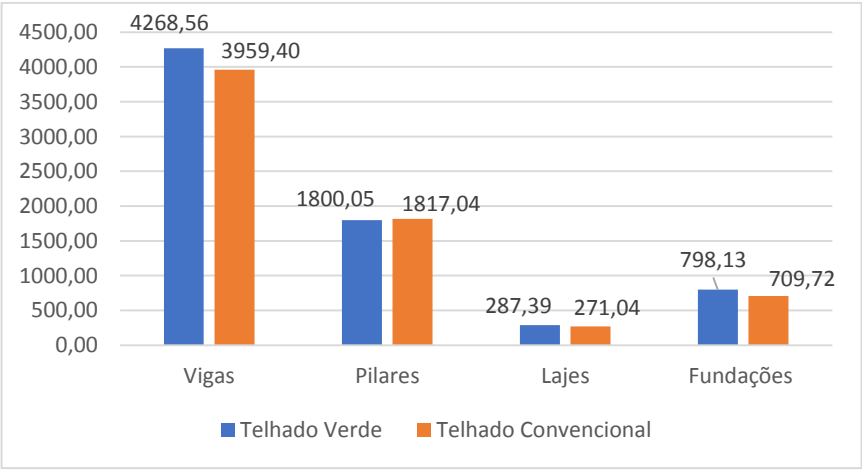



Figura 5: Comparativo orçamentário de aço (valores em reais). Fonte: Autoria Própria

Observando a Figura 5, é possível verificar que o custo de aço nas vigas foi alterado pelo aumento de uma viga no projeto da cobertura verde e também devido às cargas da cobertura verde serem maiores que para o sistema convencional. Dessa forma, obteve-se maior quantidade de aço para os, pilares, lajes, demais vigas e consequentemente para fundações. A Figura 6 apresenta o custo de concreto e fôrmas para ambas as coberturas.

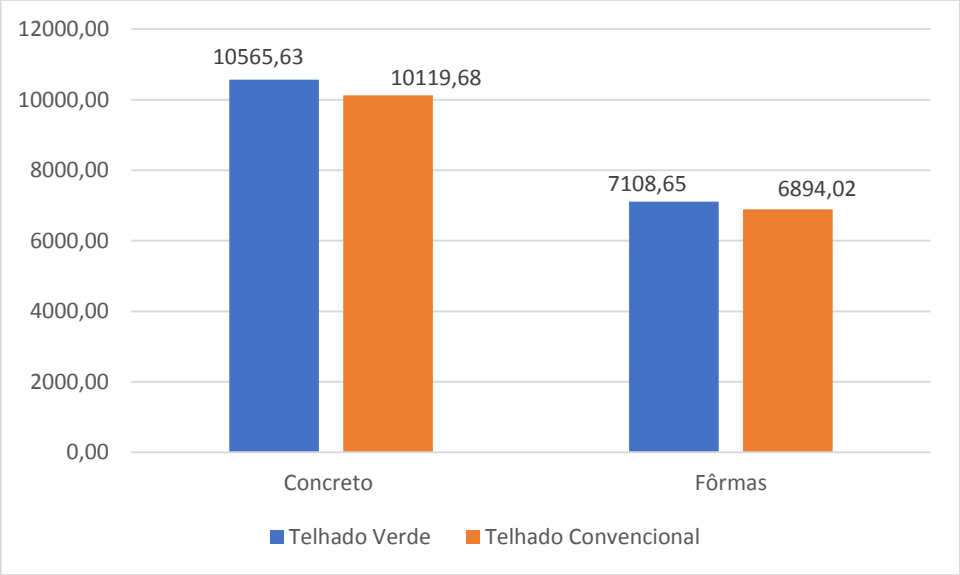



Figura 6: Comparativo orçamentário de aço (valores em reais). Fonte: Autoria Própria

Avaliando a Figura 6, é possível perceber um pequeno acréscimo nos custos de concreto e fôrmas para toda a estrutura. A diferença é justificada pela necessidade de implementação de mais uma viga no conjunto estrutural do projeto para cobertura verde.

Considerando o custo total para estrutura da edificação conforme a Figura 7, é possível verificar que a diferença é pequena, sendo que a estrutura para cobertura verde teve um valor de R$ 1057,52 superior a estrutura com cobertura convencional.

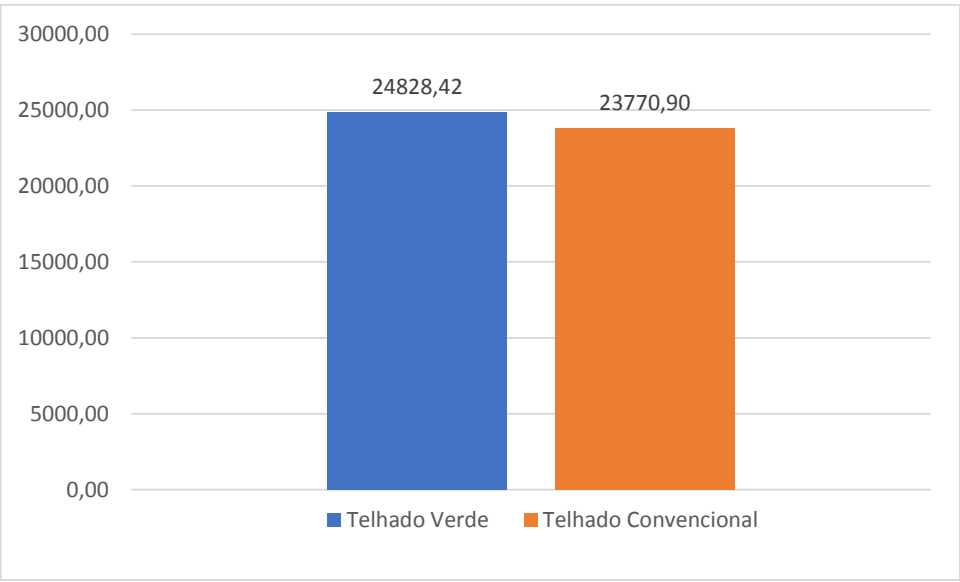



Figura 7: Comparativo de custo total da estrutura para ambas coberturas (valores em reais). Fonte: Autoria Própria

Na Figura 8 estão apresentados os custos dos materiais e mão de obra para cobertura convencional e a cobertura verde, sendo que para cobertura convencional os materiais considerados foram o madeiramento e telhas de fibrocimento. Já para cobertura verde foi considerado todo o sistema de impermeabilização, drenagem, manta geotêxtil, substrato e a vegetação rasa.

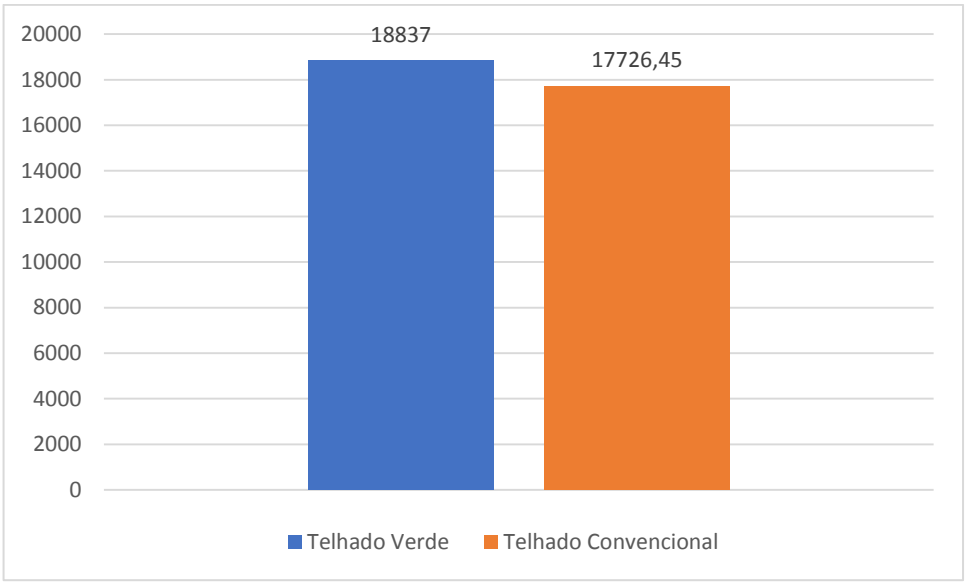



Figura 8: Custo dos materiais e mão de obra para ambas coberturas (valores em reais). Fonte: Autoria Própria

Percebe-se que em conformidade com a Figura 8, o custo dos materiais e mão de obra para a cobertura convencional e cobertura verde ficaram muito próximos, obtendo o valor de R$ 1110,55 a mais para o telhado verde em relação ao telhado convencional.

Avaliando a Figura 9, é possível verificar que o custo total para a edificação com cobertura convencional, considerando o custo dos materiais da estrutura, também os materiais e a mão de obra para implementação da cobertura é de R$ 41497,35. Fazendo as mesmas considerações para telhado verde tem-se um custo de R$ 43665,42. Portanto, a diferença total entre as considerações realizadas foi de R$ 2168,07.

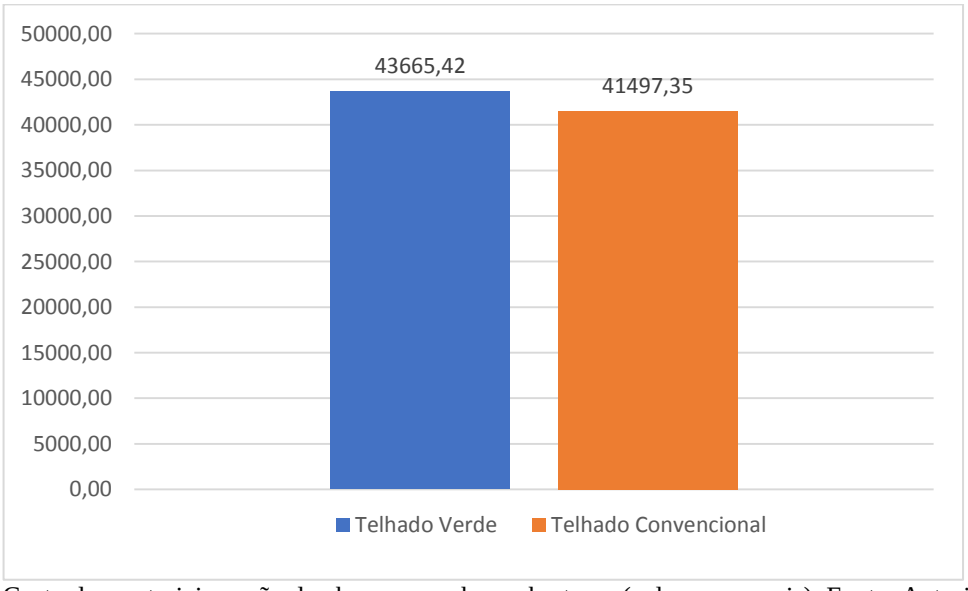



Figura 8: Custo dos materiais e mão de obra para ambas coberturas (valores em reais). Fonte: Autoria Própria

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do telhado verde é de grande benefício ambiental em função da diminuição das ilhas de calor, retenção da água da chuva e recomposição da vegetação.

Além disso, o sistema traz excelentes benefícios para edificação principalmente, com o melhoramento do conforto térmico da edificação, evitando um alto consumo de energia elétrica com ventiladores e climatizadores, sendo fundamental para redução na tarifa de energia elétrica, pois esse valor pode ser reinvestido em outras prioridades como a alimentação, saúde e educação.

O estudo realizado, apresentou dados viáveis para utilização de telhados verdes em edificações, pois como a carga da laje de cobertura é baixa, o peso gerado pela cobertura verde não é significativo para estrutura. Também os materiais utilizados para construção de ambas as coberturas considerando a mão de obra não teve uma grande diferença. Dessa forma, considerando os benefícios de conforto para edificação e principalmente os benefícios ambientais, o estudo mostra viabilidade econômica de implantação de cobertura verde em edificações. Porém, para estudos posteriores, sugere-se alterar o conjunto estrutural a fim de verificar a influência dessa alteração no custo dos sistemas construtivos.

.

## 5. REFERÊNCIAS

Antunes, J. A sustentabilidade na construção civil. 2009. Disponível em: http://www.administradores.com.br/artigos/economia-e-finanças/a-sustentabilidade-na-construção-civil/36112/. Acesso maio de 2017.

Beatrice, C. B. Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Paulo, 2011.

Catuzzo, H. Telhado verde: Impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo. 2013. 206 f. *Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas* – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Ferraz, I. L.; Leite, B. C. C. Amendoim no telhado: O comportamento da grama-amendoim (Arachis repens) na cobertura verde extensiva. *VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*. Vitória, 2011.

Ferraz, I. L; 2012. O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica, São Paulo, *dissertação de mestrado*.

Hydrotec Membrane Corporation. *Garden Roof Planning Guide*. Canadá, 2007. 19 p.

Johnston, J.; Newton, J. Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. *Greater London Authority*. London, 2004.

Lima, I. G.; Barroca, B. B.; Oliveira, P. S. Influência do telhado ecológico com plantas verdes no conforto ambiental. *VI EPCC, CESUMAR*. Maringá, 2009.

Lima, R. S. Expansão Urbana e Acessibilidade – O Estudo de Caso das Cidades Médias Brasileiras. *Dissertação de Mestrado*. USP. São Carlos SP – 1998.

Minke, G; Techos, V.; 2004. Planificación, Ejecución, Consejos Prácticos. Montevidéu, Uruguai: Editora Fin de Siglo. 2004

Nascimento, W. C. do. Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba – Barreiras e potencialidades. *Dissertação de mestrado*. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2008.

Ohnuama Junior, A. A. Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). *Cidades Verdes*, v.03, n.04, 2015, pp. 70-84. Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos, 2008.

Righi, D. P. et al. Cobertura verde: um uso sustentável na construção civil. *Revista Mix Sustentável da UFSC*. 2016.

Shikota, D. N. P. S.; Silva, G. P.; Valentim, M. A. A. Cobertura Verde Pet: Condições de Conforto Ambiental. XI Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza. São Paulo – 2016.

Spangenberg, J. Melhoria do clima urbano nas metrópoles tropicais - Estudo de caso. 2004. Disponível em: < http:// www.basis id.de/science/01 _ Spangenberg. Acesso em: 30 maio 2017.

Tavares, S. F. Telhado verde, energia embutida e emissão de CO2: análise comparativa a coberturas convencionais. *XV Encontro de tecnologia do ambiente construído (ENTAC)* – Maceió – AL, 2014.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Arquitetura:
# Ensino e Processo de Projeto Arquitetônico

REALIZAÇÃO:
URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CENTRO COMUNITÁRIO: UMA ANÁLISE DE TRÊS ESTUDOS DE CASO

**Carine Fátima Scanagatta**
**Vanessa Tibola da Rocha**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS.
carinescanagatta6@gmail.com; vanessarocha@uricer.edu.br

**Resumo:** *Atualmente as relações e convivências humanas estão cada vez menos frequente. Assim, é necessário que surjam espaços públicos de lazer que estimulem as pessoas a rebuscarem os conceitos da vida em sociedade. Diante disso, os projetos arquitetônicos precisam dar resposta à essas necessidades. Como uma forma de fazer com que as pessoas sejam atraídas a promoção do bem-estar pessoal e social, surgem os centros comunitários. Esses oferecem atividades de lazer, educação, esporte e cultura para a população. No entanto, poucas cidades no Brasil dispõem dessa tipologia. Seguindo essa realidade, na cidade de Paulo Bento, no Rio Grande do Sul, existem poucos espaços que integrem a população. Assim, propôs-se o desenvolvimento de um estudo de anteprojeto arquitetônico, de um centro comunitário de convivência, tema foco de publicações futuras. O objetivo deste artigo é descrever uma análise de três estudos de caso de anteprojetos arquitetônicos, com foco no tema centro comunitário. A metodologia do trabalho é de caráter descritivo, baseada na análise teórica de dados secundários. Os quais foram anteriormente selecionados pela revisão da literatura de uma pesquisa de Introdução ao Trabalho Final de Graduação. Os resultados dos estudos ressaltam a importância da arquitetura oferecer espaços qualificados e convidativos às relações humanas.*

**Palavras chave:** *centro comunitário, espaço público, convívio, estudos de caso, arquitetura e urbanismo.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os centros comunitários possibilitam aos indivíduos o exercício do seu direito de cidadania, assim como o desenvolvimento local e social da cidade, através de sua atuação na educação, cultura, esporte e lazer. Oferecendo a população ambientes para a formação de pessoas, por meio de oficinas, cursos, palestras, ensino profissionalizante, assim como, concede espaços para práticas culturais como dança, teatro e música, e ainda atividades relacionadas ao esporte e a educação, além de proporcionar áreas de lazer e recreação. Esses centros possuem o intuito de garantir o bem-estar social, proporcionando maior qualidade de vida para a comunidade local (Bonfim et al., 2000).

Deste modo, é dever da gestão pública das cidades disponibilizar espaços com essa temática a população, de forma que promova o estimulo à uma vida comunitária integrada. No entanto, infelizmente, faltam espaços para vivência e socialização na maioria das cidades brasileiras. Seja pela carência de espaço adequado, privatização, falta de incentivo financeiro, ou ainda por falta de atributos arquitetônicos, urbanísticos e paisagísticos, que não proporcionam acessibilidade ou estímulo ao usuário em frequentar esses espaços (Pronsato, 2005).

Ainda, sabe-se que, se a cidade oportuniza espaços que motivem as pessoas a saírem de suas rotinas, seja para uma atividade recreativa, cultural e que estimule a interação social, evita-se a desigualdade social, desenvolve-se a qualidade de vida, proporciona-se vitalidade, movimento e socialização. Nesse contexto, esses são fatores importantes para o exercício da cidadania e a busca de uma vida melhor no espaço urbano (Arfelli, 2004).

Além disso, os centros comunitários apresentam amplos programas de necessidade, isso porque, atendem diversas demandas da sociedade onde estão inseridos. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é descrever uma análise crítica sobre três estudos de casos de anteprojetos arquitetônicos, com foco no tema centro comunitário.

## 2. MÉTODO

A metodologia do trabalho é de caráter descritivo, baseada na análise teórica de dados secundários e qualitativos, que foram anteriormente selecionados pela revisão da literatura de uma pesquisa realizada na disciplina de Introdução ao Trabalho Final de Graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. A Figura 1, a seguir, ilustra o desenho metodológico do artigo que, foi estruturado em dois momentos. No primeiro, houve a identificação dos estudos de casos e, no segundo, a seleção das variáveis de análise

(funcionalidade, conforto, composição, entorno, acessibilidade, materiais e topografia) por meio de um *brainstorming*, realizado durante uma aula teórica da disciplina de ITFG.

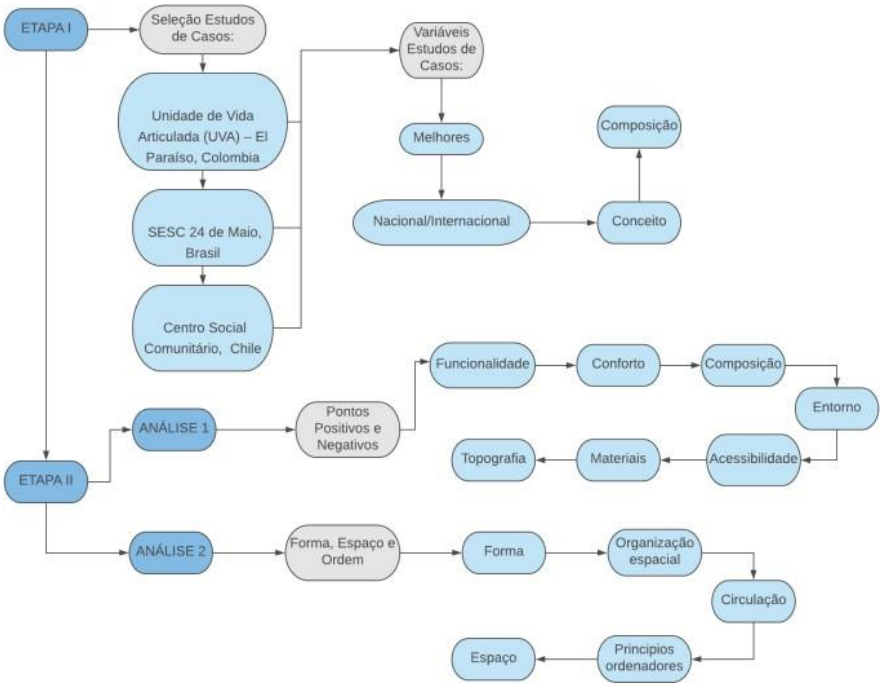



Figura 1. Desenho metodológico. Fonte: Autoras, 2019.

## 3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Os resultados do trabalho apresentam discussões referentes à sete aspectos (funcionalidade, composição, topografia, entorno, acessibilidade, materiais e conforto) que qualificam os estudos de casos em visões positivas e negativas, assim como a análise da forma, do espaço e da ordem de cada projeto.

### 3.1 Estudos de Casos

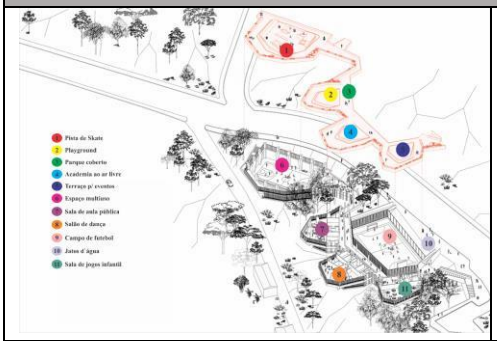
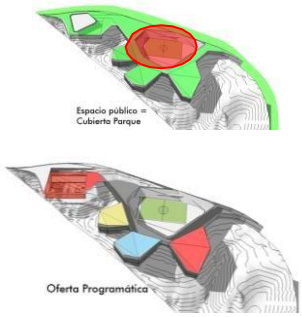
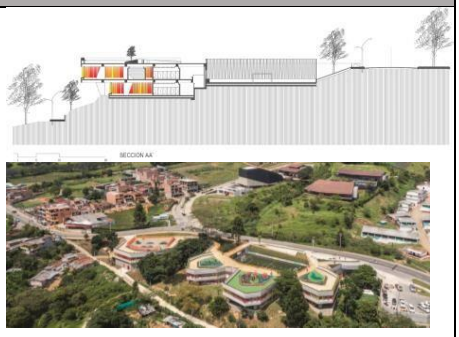
Neste tópico serão discutidos três estudos de casos, os quais serviram como referência teórica para uma pesquisa de introdução ao trabalho final de graduação, são eles: Unidade de Vida Articulada na Colômbia, SESC 24 de Maio em São Paulo e Centro Social Comunitário, no Chile.

#### 3.1.1 Unidade de Vida Articulada (UVA) – El Paraíso, Colômbia

As Unidades de Vida Articulada, UVA, projetadas pela empresa de Desenvolvimento Urbano de Medellín, no ano de 2015, com área de 3.879m², representam transformações urbanas nos bairros de Medellín, destinadas ao encontro cidadão, o fomento ao esporte, a recreação, a cultura e a participação comunitária (Archdaily, 2016).

##### 3.1.1.1 Aspectos positivos do estudo de caso

Com base na Figura 2, é possível observar que a planta baixa do projeto é funcional, devido principalmente a organização das atividades e dos setores em áreas de fácil acesso e convidativas ao uso. O programa arquitetônico se fraciona em quatro volumes que giram em torno de uma quadra existente, compondo uma forma que abraça a quadra como cenário principal (Figura 3).

| FUNCIONALIDADE/COMPOSIÇÃO | | TOPOGRAFIA/ENTORNO |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Figura 2. Planta baixa esquemática. Fonte: Archdaily, 2016. | Figura 3. Esquemas. Fonte: Archdaily, 2016. | Figura 4. Corte e Entorno. Fonte: Archdaily, 2016. |

A topografia da área em análise (Figura 4) é acidentada, o arquiteto concebeu o projeto respeitando dois cursos d'água que passam no local e também a vegetação nativa presente. Além disso, a forma adotada no projeto foi pensada de maneira respeitosa a essas variáveis de projeto, o que foi um fator extremamente positivo, pois permitiu um parque na cobertura da edificação que se converte em balcões para a apreciação da paisagem da cidade, otimizando ao máximo a área destinada aos espaços para o encontro cidadão, atendendo as demandas da comunidade.

| ACESSIBILIDADE | MATERIAIS/CONFORTO | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Figura 5. Maquete. Fonte: Archdaily, 2016. | Figura 6. Materiais. Fonte: Archdaily, 2016. | Figura 7. Fachada. Fonte: Archdaily, 2016. |

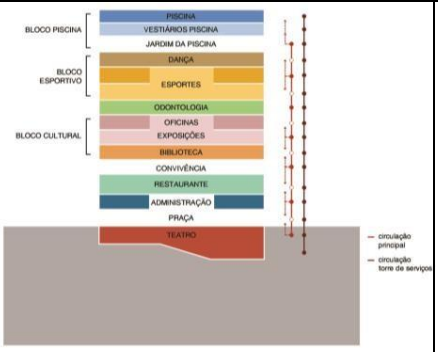
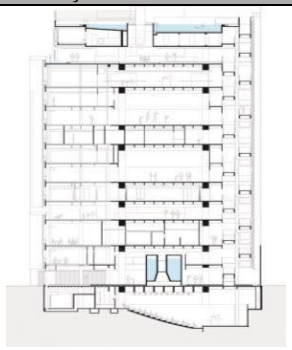
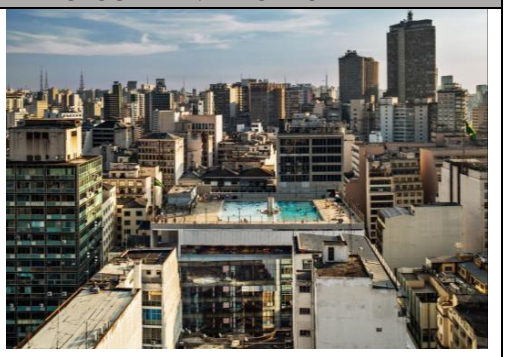
Com relação a acessibilidade, o projeto é 100% acessível, pois permite esse acesso ao nível da calçada (Figura 5), os acessos internos, são feitos todos por meio de rampas. Conforme Figura 6, o material mais utilizado é o concreto, a laje é a nervurada o que permite vãos maiores e melhor aproveitamento do espaço, possui na sua fachada uma série de elementos verticais coloridos (Figura 7), conferindo ao projeto além de conforto térmico, uma composição harmônica.

### 3.1.2 SESC 24 de Maio - São Paulo, Brasil

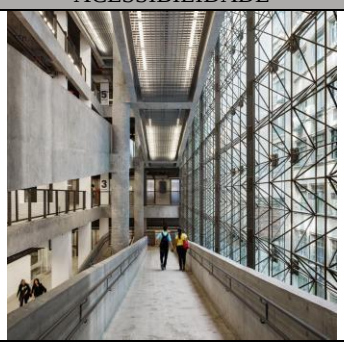
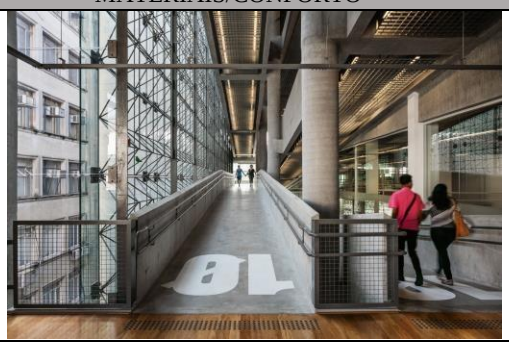
O projeto do arquiteto Paulo Mendes da Rocha, concluído em 2017, com uma área total de 27.865m², prevê o aproveitamento e adaptação de instalações existentes, e contribui de forma efetiva na recuperação de uma área notável da cidade (Archdaily, 2018).

#### 3.1.2.1 Aspectos positivos do estudo de caso

O espaço é bastante funcional, amplo e agradável de se permanecer, conforme Figura 8 abriga diferentes atividades e espaços em níveis estratégicos com o sentido de praças cobertas (Figura 9), sem vedação nas fachadas, jardins suspensos que propiciam ao usuário um lugar de descanso e entretenimento, em um ponto de grande fluxo e densidade na cidade de São Paulo (Figura 10).

| FUNCIONALIDADE/COMPOSIÇÃO | | TOPOGRAFIA/ENTORNO |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Figura 8. Corte esquemático. Fonte: Archdaily, 2018. | Figura 9. Corte. Fonte: Archdaily, 2018. | Figura 10. Entorno. Fonte: Archdaily, 2018. |

O projeto é totalmente acessível, devido as rampas internas que permitem um circuito claro e convidativo (Figura 11). Isso se deve aos materiais que o arquiteto utilizou e que tornam o ambiente agradável, como é possível observar na Figura 12. A utilização do concreto, das estruturas metálicas, dos espelhos d'água, dos móveis planejados, da madeira, das cores e do vidro trazem conforto ao lugar. O predomínio do vidro na fachada deixa visível todas as funções que o edifício possui, tornando-se convidativo ao uso.

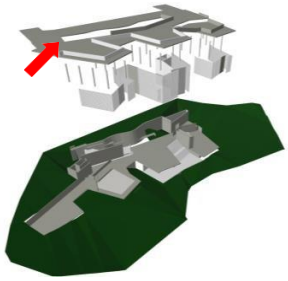
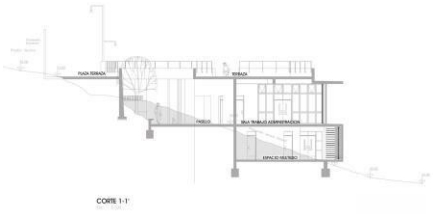
| ACESSIBILIDADE | MATERIAIS/CONFORTO |
|---|---|
|  |  |
| Figura 11. Rampas. Fonte: Archdaily, 2018. | Figura 12. Materiais. Fonte: Archdaily, 2018. |

### 3.1.3 Centro Social Comunitário – Chile

Esse projeto de 2011 do escritório 3 Arquitectos, com área de 613m² é parte do programa '*Quiero Mi Barrio*' (Amo Meu Bairro) do Ministério de Habitação e Urbanismo Chileno, que tem como objetivo aumentar a qualidade de vida de 200 bairros com grande vulnerabilidade e deterioração do Chile (Archdaily, 2013).

#### 3.1.3.1 Aspectos positivos e negativos do estudo de caso

Observa-se que o ponto articulador de todo projeto é a praça na cobertura da edificação (Figura 13), fator que integra as relações dos habitantes. Porém, as atividades ofertadas são mínimas, o que favorece o pouco uso e apropriação do espaço, principalmente das crianças. Isso porque, a proposta não possui, além do campo de futebol, nenhum meio de fomentar atividades recreativas de maior atratividade, como por exemplo playgrounds. Na Figura 14 observa-se que a topografia contribui para a composição formal. O centro comunitário possui três níveis, que são bem aproveitados e representa um importante local para a comunidade (Figura 15).

| FUNCIONALIDADE/COMPOSIÇÃO | | TOPOGRAFIA/ENTORNO |
|---|---|---|
| Praça  |  |  |
| Figura 13. Esquema edificação. Fonte: Archdaily, 2013. | Figura 14. Corte. Fonte: Archdaily, 2013. | Figura 15. Entorno. Fonte: Archdaily, 2013. |

Ainda, a proposta apresenta ampla acessibilidade, com grandes espaços de circulação (Figura 16). O concreto é o principal material utilizado, seguido dos cobogós pré-fabricados em concreto. Fator esse que, oferece proteção e entrada de luz, permitindo uma ventilação adequada ao ambiente (Figura 17).

| ACESSIBILIDADE | MATERIAIS/CONFORTO |
|---|---|
|  |  |
| Figura 16. Rampas. Fonte: Archdaily, 2013. | Figura 17. Entorno. Fonte: Archdaily, 2013. |

### 3.2 Forma, espaço e ordem

Este item apresenta uma análise com base nos aspectos referentes a forma, espaço e ordem e os fatores que ajudam a compreender os estudos de casos, conforme Tabela 1 - apresentada a seguir. Segundo Ching (2013), forma na arquitetura se refere a estrutura interna e externa que confere unidade ao todo de uma edificação. E espaço é o que dá sentido a uma construção, é o programa de necessidades. E por fim a ordem, na qual organiza os padrões que dão coerência à forma e ao espaço.

Tabela 1. Análise fatores: forma, espaço e ordem

| FATORES SEGUNDO CHING | CONDICIONATES | ESTUDOS DE CASOS | | | FIGURAS |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Unid. De Vida Articulada - CO | SESC 24 de Maio - BR | Centro Comunitário - CL | |
| FORMA | Adição | | | | Ver figura 20 |
| | Subtração | | | | Ver figura 19 e 21 |
| | Interseccionado | | | | Ver figura 20 |
| | Conectado | | | | Ver figura 19 |
| ORGANIZAÇÃO ESPACIAL | Centralizada | | | | Ver figura 19 e 21 |
| | Malha | | | | Ver figura 22 |
| CIRCULAÇÃO | Linear | | | | Ver figura 23 |
| | Espiral | | | | Ver figura 24 |
| | Rede | | | | Ver figura 23 |
| | Referencia | | | | Ver figura 19 e 21 |
| | Transformação | | | | Ver figura 22 |

Fonte: Autoras, 2019.




Figura 18. Implantação UVA – CO

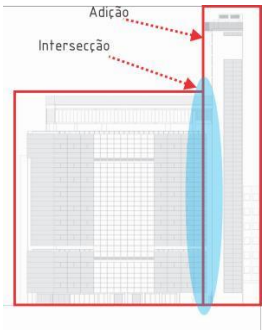



Figura 19. Fachada SESC - SP




Figura 20. Implantação Cent. Comum. - Chile

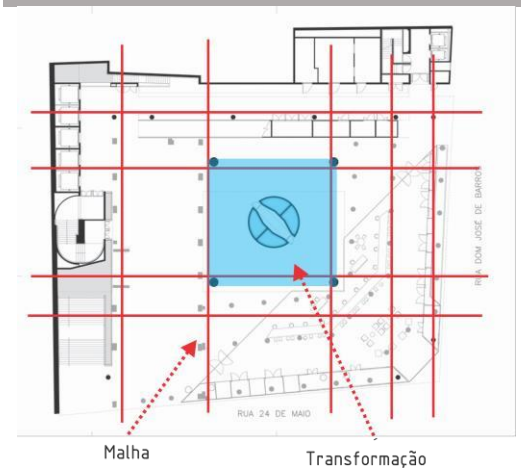



Figura 21. Planta baixa térreo SESC - SP

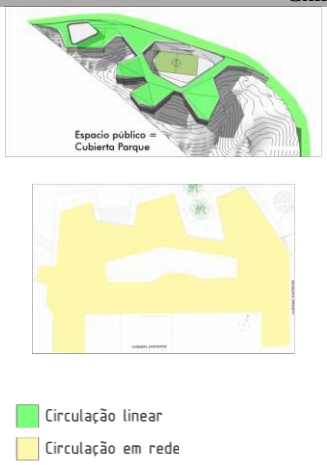



Figura 22. Esquemas circulação UVA e Centro Comunitário

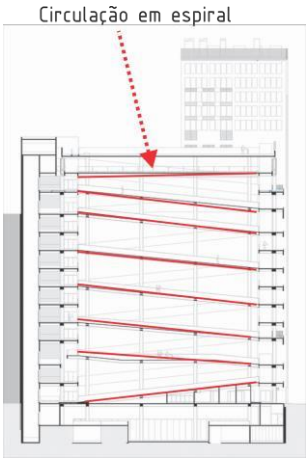



Figura 23. Corte circulações - SESC

Fonte: Adaptadas pelas autoras de Archdaily, 2013, 2016 e 2018.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as análises feitas nos estudos de caso, é possível compreender que um bom projeto arquitetônico de um centro comunitário, deve levar em conta diversos fatores, dentre eles as limitações que o entorno do projeto apresenta. Fator esse que, consequentemente, contribuirá com a forma, com o espaço e na organização das atividades ofertadas. Sem, no entanto, esquecer de atender as demandas dos usuários, para que possam ser realizadas atividades que contemplem as necessidades da comunidade. Por fim, os centros comunitários devem ampliar as relações humanas e a resposta da arquitetura deve ser oferecer meios para contribuir com espaços qualificados que estimulem o convívio entre as pessoas, e faça com que tenham estímulos em frequentar os lugares, desenvolvam atividades e melhorem a qualidade de vida.

## 5. REFERÊNCIAS

Archdaily, 2013. *Centro Social Comunitário / 3 Arquitectos.* ArchDaily Brasil. (Trad. Helm, Joanna). 27 maio 2019 <https://www.archdaily.com.br/121961/centro-social-comunitario-slash-3-arquitectos>.

Archdaily, 2018. *Sesc 24 de Maio / Paulo Mendes da Rocha + MMBB Arquitetos.* ArchDaily Brasil. 27 maio 2019 <https://www.archdaily.com.br/br/889788/sesc-24-de-maio-paulo-mendes-da-rocha-plus-mmbb- arquitetos>.

Archdaily, 2016. *UVA El Paraíso / EDU - Empresa de Desarrollo Urbano de Medellín.* ArchDaily Brasil. (Trad. Santiago Pedrotti, Gabriel). 27 maio 2019 <https://www.archdaily.com.br/br/788974/uva-el-paraiso-edu-empresa- de-desarrollo-urbano-de-medellin>.

Arfelli, A.C. *Áreas verdes e de lazer: considerações para sua compreensão e definição na atividade urbanística de parcelamento do solo*. Revista de Direito Ambiental, São Paulo, v. 9, n. 33, p. 33-51, jan/mar 2004. 28 abr. 2019 <http://www.revistajustitia.com.br/artigos/3d0b6b.pdf>.

Bonfim, C. D. J. et al, 2000. *Centro Comunitário.* Lisboa. 28 abr. 2019 <http://www.seg-social.pt/documents/10152/51562/Centro_comunitario/a0a29948-aba9-446b-afc0-8561ad725e37>.

Ching, F. D. K, 2013. *Arquitetura: forma, espaço e ordem.* Tradução: Alexandre Salvaterra. – 3.ed. –

Porto Alegre: Bookman.
Pronsato, S. A. D, 2005. *Arquitetura e paisagem: projeto participativo e criação coletiva.* São Paulo: Annablume. 13 abr. 2019 <http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/43524/47146>.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# TERMINAIS RODOVIÁRIOS: ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE ESTUDOS DE CASO

**Gian Marcelo dos Reis**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
reisgian@outlook.com

**Vanessa Tibola da Rocha**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
vanessarocha@uricer.edu.br

**Roberta Grendene**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner, Erechim, CEP 99700-000, Erechim, RS
rgrendene@uol.com.br

***Resumo:*** *Os territórios brasileiros evidenciam inúmeros problemas de planejamento. E, dentre esses, a mobilidade é considerada um dos principais. Isso porque os investimentos públicos foram direcionados a indústria automobilística e negligenciados os incentivos de transportes coletivos e públicos. Erechim, como a maioria das cidades brasileiras, não apresenta infraestrutura e incentivo para as atividades de transporte coletivo. Desse modo, o desenvolvimento de estudos arquitetônicos sobre o tema ‘‘terminais rodoviários’’ são indispensáveis, para a valorização desse espaço e o desenvolvimento de bons anteprojetos arquitetônicos futuros. Assim, o objetivo deste artigo é descrever uma análise crítica de três estudos de caso, de anteprojeto arquitetônicos, com foco no tema terminais rodoviários de passageiros. A metodologia deste artigo é de caráter descritivo, baseado na análise de dados secundários qualitativos. Os quais, foram selecionados pela revisão da literatura de uma pesquisa de Introdução ao Trabalho Final de Graduação (ITFG), que desenvolverá estudos de anteprojetos arquitetônicos sobre o tema na cidade de Erechim. Os resultados da pesquisa evidenciam que, para um projeto adequado, a preocupação com os acessos, fluxos, localização e bem-estar dos usuários são determinantes. Partindo disso, compreende-se que, os terminais rodoviários de passageiros são elementos cruciais para o desenvolvimento sustentável das cidades e regiões.*

***Palavras chave:*** *terminal rodoviário, mobilidade urbana, arquitetura, transporte coletivo, estudo de caso.*

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado no processo de urbanização, que se desenvolveu ao longo dos últimos tempos na maioria das cidades brasileiras, antecipou a percepção da expansão dos problemas urbanos produzidos nas cidades, consequência de um planejamento inadequado e da má distribuição de recursos econômicos. A mobilidade urbana se apresenta. no contexto dos territórios em desenvolvimento, como sendo um dos aspectos mais afetado. São diversos os fatores que prejudicam a mobilidade urbana, entre eles a indústria automobilística com seu mercado competitivo e a falta de incentivo as atividades de transporte coletivo (CONTERNO, 2013).

Além disso, a baixa qualidade dos transportes coletivos impulsionou o uso desenfreado do automóvel, gerando impactos que refletem não só nos congestionamentos das vias e no trânsito saturado, como também no meio ambiente e na saúde da população (MERLIN, 2014).

O transporte coletivo é apontado como a principal alternativa na solução de problemas urbanos nas cidades, com isso, o tema terminal rodoviário de passageiros deve ser entendido como elemento fundamental à mobilidade urbana, sendo que este, tem a função principal de realizar deslocamentos necessários à população. Partindo disso, um funcionamento adequado e eficiente de um terminal rodoviário oferece uma melhor qualidade de vida a população e a mobilidade urbana (SANTOS, 2015).

Segundo Bertolucci (2007), a qualidade e a eficiência do transporte de passageiros devem ter uma visão ampla, levando em conta não só exclusivamente o sistema de transportes, mas também o espaço onde acontece e a satisfação de

todos usuários envolvidos. Assim, o objetivo deste artigo é descrever uma análise crítica de três estudos de caso, de anteprojeto arquitetônicos, com foco no tema terminais rodoviários de passageiros.

## 2. MÉTODO

A metodologia do trabalho está dividida em duas etapas, sendo a primeira, caraterizada como: seleção dos estudos de caso, variáveis e fontes de busca e a segunda: como análise de variáveis projetuais (conforme Figura 1).

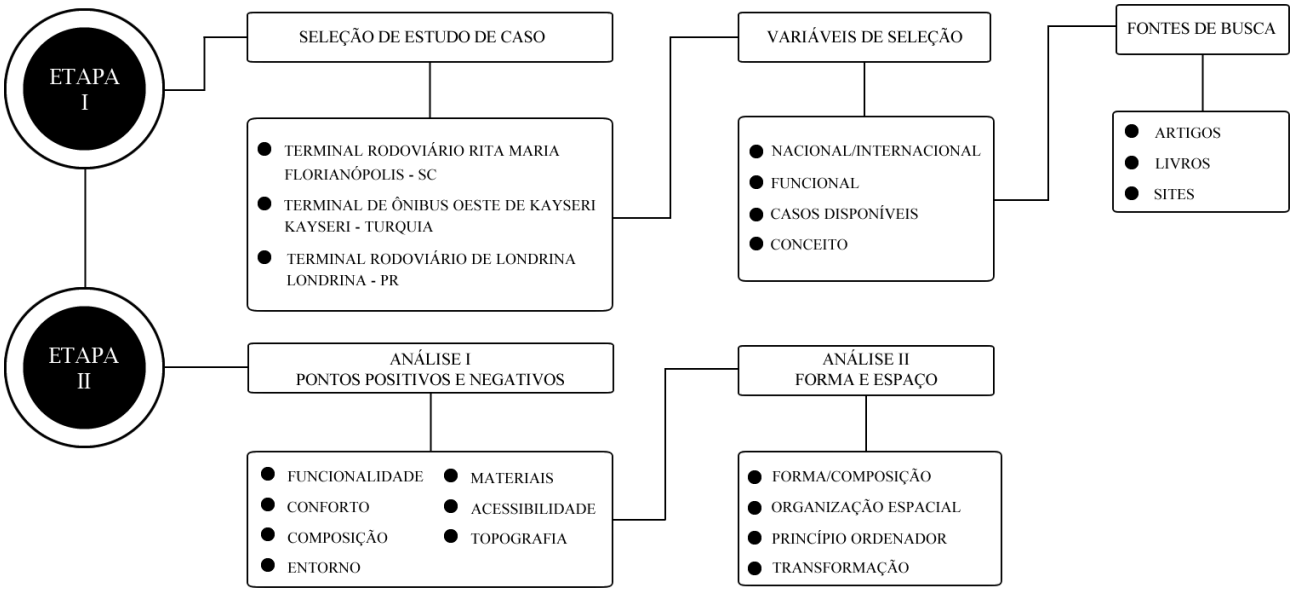



Figura 1 - Desenho metodológico do artigo
Fonte: Autores (2019)

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para elaboração do artigo foram analisados estudos de casos distintos, com objetivo de auxiliar na composição de repertório para soluções projetuais e desenvolvimentos de estudos na área de terminais rodoviários. Foram consideradas as seguintes variáveis: funcionalidade, conforto, composição, entorno, materiais, acessibilidade e topografia, para análise dos mesmos.

### 3.1 Estudo de caso

Foram selecionados três estudos de casos, sendo dois nacionais e um internacional; conforme concepção projetual, disponibilidade e referências em projetos do tema. Os estudos de caso por este artigo analisados foram: Terminal Rodoviário Rita Maria – Florianópolis/SC, Terminal de ônibus Oeste de Kayseri – Turquia e Terminal Rodoviário de Londrina/PR.

#### 3.1.1 Estudo de caso Terminal rodoviário Rita Maria

O Terminal Rodoviário Rita Maria foi projetado por Enrique Brena Nadotti e Yamandú Carlevaro no ano de 1976. Localizado no aterro da baía sul, em Florianópolis, Santa Catarina, a edificação apresenta duas plantas baixas, tanto a do térreo quanto a do mezanino, que possuem desenho simples e funcional (Figura 1). A parte central do pavimento térreo é a parte do setor de serviços diversos, que facilita sua identificação e "abraça" os usuários. A circulação interna se dá por um eixo longitudinal que atravessa horizontalmente toda a extensão da rodoviária, conectando toda a parte de embarque, desembarque e serviços (Figura 3).

| Funcionalidade | Composição/Topografia | Conforto/Materiais |
|---|---|---|

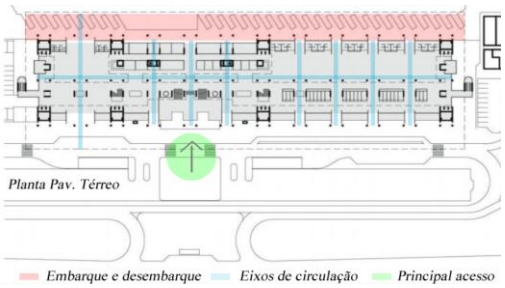



Figura 1 - Planta baixa Rodoviária Rita Maria, Florianópolis/SC
Fonte: Archdaily – adaptado pelo autor (2019)

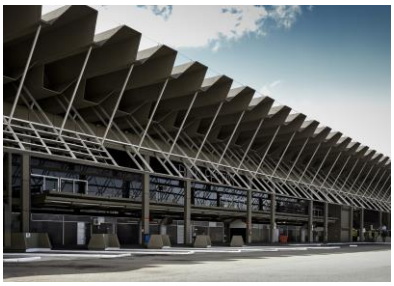


Figura 2 - Fachada principal do Terminal
Fonte: Archdaily (2019)

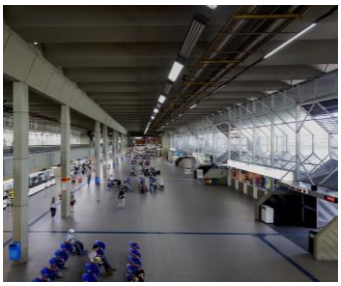


Figura 3 – Áreas de espera da Rodoviária
Fonte: Archdaily (2019)

A edificação possui ventilação cruzada, que mantém o local higienizado, devida a constante renovação do ar provocada pelas correntes de circulação. Também, conforme Figura 3, é possível identificar os grandes vãos que permitem à iluminação natural dos ambientes internos, provocada pelas grandes aberturas de vidro em toda a fachada.

A sua composição desenvolve-se como um elemento continuo e padronizado, com isso, a volumetria marcante se dá na horizontalidade, através de sua forma retangular bruta, seu pé direito exuberante, e o uso de materiais eminentes na fachada, que revela uma arquitetura brutalista refinada (Figura 2). Os materiais predominantes utilizados foram o concreto aparente, o metal, o vidro, a madeira e a borracha. A construção não é totalmente acessível, apenas seu primeiro pavimento, a ligação para o mezanino se dá por escadas, o que impossibilita o acesso para pessoas com mobilidade reduzida.

### 3.1.2 Estudo de caso Terminal de Ônibus Oeste de Kayseri

O Terminal de Ônibus Oeste de Kayseri foi projetado por Bahadir Kul Architects no ano de 2006 e está localizado em Kayseri, na Turquia. Os acessos dispostos no volume, a localização dos setores e a planta livre torna o ambiente funcional e agradável. A concepção arquitetônica produz um resultado estético na fachada leve, com uma configuração de planta baixa que favorece ampla circulação no espaço interno (Figura 4).

| Funcionalidade/Composição/Conforto | Materiais/Topografia |
|---|---|

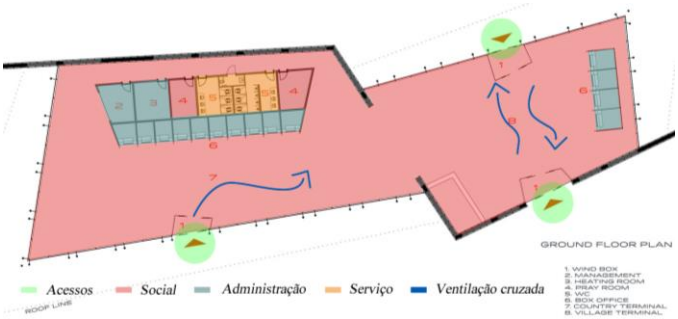



Figura 4 - Planta baixa com análises
Fonte: Archdaily – adaptado pelo autor (2019)



Figura 5 - Fachada do Terminal Kayseri
Fonte: Archdaily (2019)

Foram utilizados grandes panos de vidro, proporcionando iluminação natural eficiente no ambiente. Há, também ventilação cruzada, como mostrado na

Figura 4, que torna o ambiente agradável. A construção está inserida na malha urbana, no entanto a mesma não se destoa das proximidades, muito pelo contrário, se apresenta como figura constituída no contexto. Os materiais predominantes no projeto foram a pedra, o vidro, o aço e o concreto. A forma com que se trabalhou com esses materiais, provocou uma sensação de leveza (

Figura 5).

O projeto foi desenvolvido seguindo à concepção em níveis planos. Assim, possui apenas um pavimento e, com isso a construção se torna um espaço acessível as pessoas com mobilidade reduzida, além de facilitar o acesso.

### 3.1.3 Estudo de caso Terminal Rodoviário de Londrina

O Terminal Rodoviário de Londrina foi projetado por Oscar Niemeyer no ano de 1978, localizado em Londrina, no Paraná. É considerada uma das mais funcionais e belas do Brasil, se tornou referência em projetos de rodoviárias. A preocupação com a funcionalidade deu origem à concepção do projeto, segundo Niemeyer elemento indispensável em um projeto da categoria. Dessa forma, a primeira preocupação foi com as circulações de ônibus, carros particulares e táxis porque as mesmas deveriam ser independentes (MARTINS, 2017).

Com a separação dos fluxos, originou uma forma circular que se adaptava ao terreno e permite a circulação continua, e estacionamento em toda sua volta. A planta baixa é simples e estruturada de forma circular (

Figura 6), na parte central foi criado um espaço aberto, que concentra o jardim e a sua volta vários outros serviços de atendimento ao público.

Originalmente a estrutura da construção seria em concreto armado, característico do arquiteto, mas ocorreram modificações pelo prefeito da época. Então optou-se por estrutura metálica com cobertura de zinco. A iluminação natural é um elemento presente no projeto e assegurada pelos amplos panos de vidro presentes na fachada (Figura 7).

| Funcionalidade | Composição/Materiais/Topografia |
|---|---|

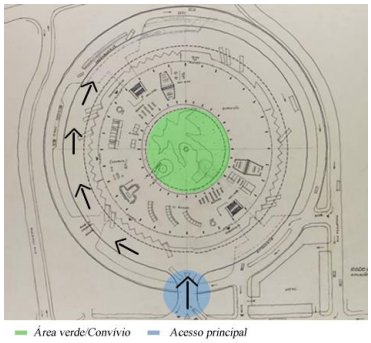



Figura 6 - Planta baixa da rodoviária de Londrina/PR
Fonte: Niemeyer – Adaptado pelo Autor (2019)



Figura 7 - Fachada do terminal rodoviário de Londrina/PR
Fonte: Serralheria Colonial (2019)

## 3.2 Estudo da Forma

Neste tópico, os mesmos estudos de casos mencionados anteriormente, serão analisados em relação a sua forma.

### 3.2.1 Terminal Rodoviário Rita Maria

A construção foi projetada na forma de um grande retângulo sólido, que recebe elementos contínuos e padronizados ao longo de toda sua extensão, os quais criam um ritmo na fachada, conforme a

Figura 8. A sua organização espacial é estabelecida em malha, os espaços são dispostos em meio a uma malha estrutural, formada por 3 linhas com 14 pilares de seção hexagonal (

Figura 9). Sua circulação é orientada de forma linear, constituída por um eixo central comum, desenvolvida por princípios ordenadores em linha, conforme Figura 9.

| Forma/Dimensão/Espaço | Organização espacial/Circulação |
|---|---|



Figura 8 - Fachada Terminal Rita Maria
Fonte: Archdaily (2019)

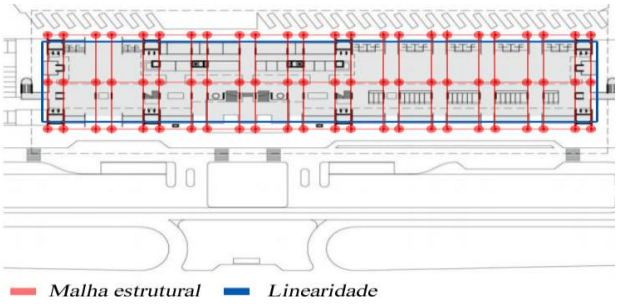



Figura 9 - Planta baixa com análise
Fonte: Archdaily – adaptado pelo autor (2019)

### 3.2.2 Terminal de Ônibus Oeste de Kayseri

O projeto tem forma retangular básica, que se une a uma divisão em formato de "Z" para limitar os dois terminais, conforme

Figura 10 é possível observar como foi concebido os volumes. Porém, ocorreram transformações na forma original, o formato retangular sólido sofreu subtrações e alterações angulares.

O projeto está inserido como um objeto independente no espaço, com propósito de tornar o local sociável e de apropriação. A sua circulação é orientada pela organização linear, como podemos observar na Figura 11.

| Forma/Dimensão/Espaço | Organização espacial/Circulação |
|---|---|

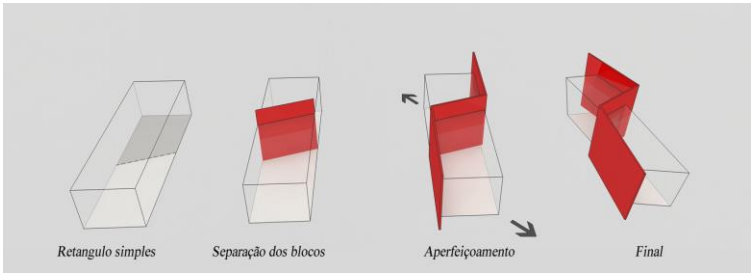



Figura 10 - Forma do Terminal Kayseri
Fonte: Archdaily – adaptado pelos autores (2019)



Figura 11 - Implantação do Terminal
Fonte: Archdaily – adaptado pelos autores (2019)

### 3.2.3 Terminal de Rodoviário de Londrina

Sua forma foi concebida a partir do desenho dos fluxos para o terminal, uma forma circular que se ajustou ao terreno e propiciou circulação e estacionamento em todo o entorno da edificação. A

Figura 12, ilustra os desenhos realizados por Oscar Niemeyer. Houve um processo de subtração no volume, na área central do volume, como mostra na

Figura 13, o intuito da subtração foi para criar um espaço natural e de convívio.

O projeto é de organização centralizada, o espaço central se apresenta como item dominante, e ao seu redor são agrupados vários espaços secundários. A sua circulação, é orientada pela organização espiral, que se origina de um ponto e se desenvolve a sua volta.

| Forma/Dimensão/Espaço | Organização espacial/Circulação |
|---|---|

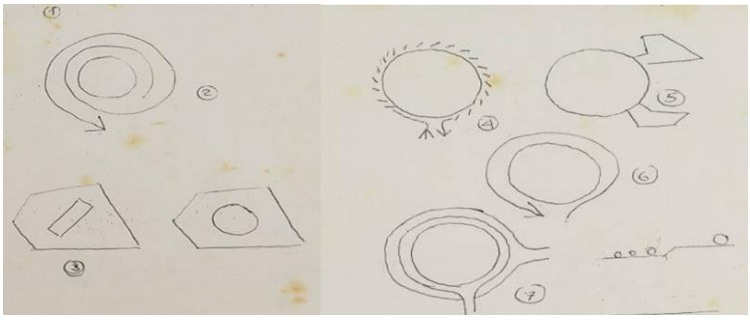


Figura 12 - Croquis realizados por Niemeyer
Fonte: Niemeyer (2019)

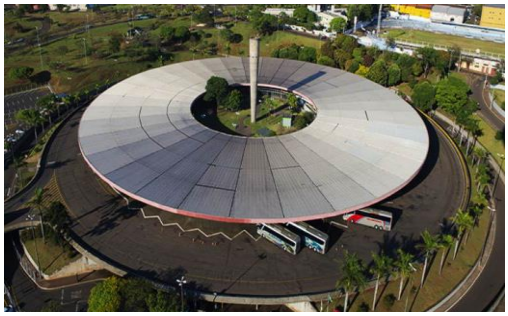


Figura 13 - Rodoviária de Londrina/PR
Fonte: Codel (2018)

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os terminais rodoviários de passageiros são elementos imprescindíveis na infraestrutura de uma cidade, pois afetam diretamente o funcionamento e desenvolvimento das mesmas. A complexidade de projetos de rodoviárias, torna indispensável a análise de estudos de casos, para o melhor entendimento de como os ambientes e espaços devem funcionar em edificações desta tipologia, bem como as particularidades e características do programa de necessidades do tema. Os estudos de caso enfatizam ainda que, não são necessários formas difíceis para apresentação de boas soluções na temática. Ainda, a ventilação e iluminação natural são fatores respeitados em todos os estudos de caso. Por fim, as análises dos três estudos de caso contribuíram para o melhor entendimento e futuro desenvolvimento de uma proposta em nível de anteprojeto, de um terminal rodoviário para a cidade de Erechim/RS.

## 5. REFERENCIAS

ARCHDAILY. Archdaily. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br. Acesso em: 25 maio. 2019.

BERTOLUCCI, L. M. Terminal de transporte urbano coletivo. 2007. 123f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel/PR, 2007.

CONTERNO, R. C. O transporte público coletivo a partir do conceito de mobilidade urbana sustentável: um estudo de caso na cidade de Pato Branco – PR. p. 118, 2013.

MARTINS, H. R. Terminal Rodoviário e Urbano de Araçatuba - SP. 2017. 112f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Centro Universitário Toledo, Araçatuba/SP, 2017.

MERLIN, M. L. Diretrizes Urbanas para Implantação do Terminal Intermodal de Sorocaba. Disponível em: https://issuu.com/marinalememerlin/docs/memorial_tis. Acesso em: 28 maio. 2019.

NIEMEYER. Terminal rodoviário José Garcia Villar - Terminal rodoviário de Londrina. Disponível em: http://www.niemeyer.org.br/obra/pro240. Acesso em: 24 maio. 2019.

SANTOS, L. R. Anteprojeto de um novo terminal rodoviário de passageiros para o município de Macaé/RJ. 2015. 83f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica Fluminense, Campos dos Goyatacazes/RJ, 2015.

SERRALHERIA COLONIAL. Obras. Disponível em: http://serralheriacolonial.com.br/fotos.php?categoria=74. Acesso em: 23 maio. 2019.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
4th International Congress of Management, Technology and Innovation
October, 1st- 06, 2018 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# A TECNOLOGIA COMO FERRAMENTA DE METODOLOGIA ATIVA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE ARQUITETURA E URBANISMO: RELATO DE EXPERIÊNCIA

**Laura Campagna Basso**
**Lauro André Ribeiro**
**Henrique Kujawa**
Faculdade Meridional, IMED, Rua Senador Pinheiro, 304, Passo Fundo/RS
lauracbasso@hotmail.com, lauro.ribeiro@imed.edu.br, henrique.kujawa@imed.edu.br

***Resumo:*** *O processo de ensino-aprendizagem, a partir do século XXI, está passando por significativas transformações associada às tecnologias de comunicação e inovação o que tem se tornando um grande desafio mundial. Estas mudanças estão associadas às tecnologias de comunicação e inovação que têm se difundido por todo o mundo e, por isso, é necessário que os educadores repensem e refaçam suas práticas pedagógicas, ou seja, nos novos tempos, novas atitudes. O objetivo geral do artigo é relatar a experiência de aplicação da metodologia ativa Team Based Learning (TBL), em estudantes de uma disciplina no curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Meridional, IMED. Metodologicamente, para o auxílio da aplicação da metodologia ativa, fez-se uso da plataforma online e gratuita TBL Active, que possibilitou a inserção de novas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem em sala de aula. Os resultados demonstram que o processo de ensino-aprendizagem pode ser diferenciado e atrativo para os estudantes e para os professores, buscando sempre manter sua eficácia.*

***Palavras-chave:*** *Ensino Superior, Metodologias Ativas, Team Based Learning (TBL), TBL Active.*

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de ensino-aprendizagem a partir do século XXI está sendo um grande desafio mundial (CORTELLA, 2014; KRUG et al., 2016; BITTENCOURT; ALBINO, 2017). Segundo Cortella (2014, p. 6), o futuro está sendo feito "o tempo todo por todos nós, educadores profissionais ou não" e "se o quisermos de forma que seja um Futuro que proteja a Vida Coletiva e eleve e honre nossa dedicação profissional, precisamos repensar e refazer nossas práticas, isto é, nos novos tempos, novas atitudes".

Neste contexto, o professor assume um importante papel como incentivador e mediador no processo de ensino-aprendizagem. Krug et al. (2016) relatam que para formar profissionais tecnicamente qualificados, de perfil reflexivo, crítico, humanista e ético, devem ser estimuladas iniciativas práticas, políticas e pedagógicas, para que o ambiente de ensino-aprendizagem se torne mais significativo, interativo e cooperativo.

Segundo Bittencourt e Albino (2017, p. 208), "estamos vivenciando uma nova realidade, a era da informação e da tecnologia, a qual os alunos, professores e a sociedade geral, mudaram seus pensamentos e a sua forma de agir". Como resultado, a educação também se modificou ao longo do tempo. De acordo com Castells (2003; 2016), desde o século passado e com mais intensidade no século XXI, o mundo está passando por um processo de transformação associada às tecnologias de comunicação e inovação que têm se difundido por todo o mundo.

Para Cortella (2014, p. 30-31), as novas tecnologias devem ser aliadas ao processo de ensino-aprendizagem e, sempre que possível, que haja a distinção entre o acesso à informação e o conhecimento. O autor ainda atenta para que a "tecnologia tenha a sua presença, que o ensino não seja de conteúdos abstratos, mas que sejam ideias que tragam a reflexão do concreto", sobretudo, "que não haja autoritarismo, mas que a autoridade seja um elemento de constituição sólida da convivência, em que haja uma estrutura colaborativa em vez de trabalhar apenas como competitivo" (CORTELLA, 2014, p. 30-31).

Dessa maneira, este artigo tem como objetivo geral relatar a vivência em sala de aula, como parte da disciplina de Estágio Docência, com a aplicação da metodologia ativa *Team Based Learning* (TBL), em estudantes de uma disciplina no curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Meridional, IMED. Além disso, tem como propósito, expor os resultados encontrados com o uso de novas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem em sala de aula, de modo a preservar as habilidades requeridas pelo papel dos futuros arquitetos e urbanistas.

O presente artigo está estruturalmente constituído em quatro tópicos principais. O primeiro discorre sobre a temática da metodologia ativa e sua ferramenta de ensino *Team Based Learning* (TBL) por meio da fundamentação teórica. O segundo tópico expõe os procedimentos metodológicos utilizados na realização do estudo. O terceiro apresenta e discute os resultados obtidos durante e após a realização da experiência de ensino-aprendizagem. O quarto tópico sintetiza os principais resultados finais alcançados e conclui o relato de experiência.

## 2. A METODOLOGIA ATIVA

A metodologia ativa é uma ferramenta educativa que incentiva processos de ensino-aprendizagem crítico-reflexivos, onde a participação e o comprometimento do aluno em atividades são refletidos no seu aprendizado. O método tem como princípios a construção de situações de ensino que favoreçam no desenvolvimento da capacidade de argumentar a partir do conhecimento fundamentado e crítico. Além disso, que promovam a reflexão de problemas e desafios, atuando em prol de recursos e soluções (BORDENAVE; PEREIRA, 2007).

Diversas metodologias ativas têm sido desenvolvidas e utilizadas na formação educacional atual na busca pelo desenvolvimento de competências essenciais à atuação profissional. Porém, algumas metodologias esbarram na restrição de serem melhor aplicadas em turmas ou pequenos grupos, em consequência, turmas grandes demandariam mais docentes/tutores envolvidos nas dinâmicas. Quanto maiores as turmas, maior é o desafio no processo de ensino-aprendizagem (KRUG et al., 2016).

Contudo, o professor Larry K. Michaelsen, familiarizado em ministrar aulas com turmas pequenas, em 1970 enfrentou um desafio ao se deparar com grandes turmas universitárias. Nesta ocasião, para driblar as extensas aulas teóricas, Michaelsen dividiu a turma em diversos grupos menores e propôs diferentes dinâmicas sequenciadas. Neste mesmo instante, ele desenvolveu a técnica educacional intitulada como *Team Based Learning* (TBL) (KRUG et al., 2016).

### 2.1 *Team Based Learning* (TBL) ou Aprendizagem Baseada em Equipe (ABE)

A metodologia ativa denominada de *Team Based Learning* (TBL), ou aprendizagem baseada em equipes, é uma técnica educacional que busca um ensino e uma aprendizagem mais integrada e colaborativa. Esta estratégia tem como objetivo uma sequência de atividades que promovam o desenvolvimento pessoal e em equipe, resultando em uma experiência mais significativa (MICHAELSEN; SWEET, 2008; KRUG et al., 2016; TBL ACTIVE, 2019).

A Aprendizagem Baseada em Equipe (ABE/TBL) é definida por Krug et al. (2016, p. 603), como "uma estratégia educacional constituída por um conjunto de práticas sequenciadas de ensino-aprendizagem". Neste sentido, apresenta como objetivo principal um ensino e aprendizagem além da prática de expor conteúdo e solicitar a concentração dos alunos, mas, garantir que estes tenham a oportunidade de praticá-lo se apropriando de conceitos do seu curso na resolução de problemas atuais ou que encontrarão no futuro. Portanto, o TBL foi planejado para fornecer aos participantes conhecimentos conceituais e procedimentais (MICHAELSEN; SWEET, 2008).

Na prática da metodologia ativa TBL, os alunos são estrategicamente convidados a estudar alguns conteúdos específicos definidos pelo professor, pois de acordo com Michaelsen e Sweet (2008) toda atividade TBL é iniciada por um *Readiness Assurance Process* (RAP), processo de garantia de prontidão. Este processo consiste na aplicação de um teste sobre o conteúdo anteriormente estudado, incialmente realizado de forma individual e, em seguida, o mesmo teste é efetuado em equipe, para que juntos atinjam um entendimento sobre as melhores respostas às questões do teste. Em seguida, os alunos obtêm um *feedback* sobre o teste realizado individualmente e em equipe, possibilitando o conhecimento de todos sobre as fragilidades e potencialidades da turma. Por fim, o instrutor da atividade realiza uma explanação que garante o esclarecimento de quaisquer percepções errôneas que se fizeram presentes durante a atividade realizada (MICHAELSEN; SWEET, 2008).

Para Michaelsen e Sweet (2008), este tipo de metodologia exige que ocorram mudanças nos papéis de professor e alunos. Ou seja, o papel do professor/instrutor passa do compartilhamento de informações/conteúdos para o de designer e coordenador das atividades e, o papel dos alunos passam de receptores passivos das informações/conteúdos para a de responsáveis pela exposição do conteúdo. Em vista destas mudanças, os autores manifestam quatro elementos essenciais para que a aprendizagem baseada em equipe (TBL) seja implementada com sucesso:

a) As equipes devem ser formadas e gerenciadas de modo adequado;
b) Os alunos devem ser responsáveis pela qualidade de suas atividades individuais e em equipe;
c) Os alunos devem receber o *feedback* apropriado e imediato;
d) As atividades devem estimular o aprendizado e o desenvolvimento das equipes.

De acordo com Krug et al. (2016), para a implementar a metodologia do TBL, é essencial haver o prévio planejamento das atividades que serão exercidas, a conexão desta com as demais atividades que ocorrem no módulo semestral/anual de cada curso – se não for possível, aplicações pontuais podem ser realizadas e ainda assim surtirem efeitos pedagógicos – e, por fim, o processo de avaliação dos alunos. Desta maneira, se os alunos não estão familiarizados com a metodologia ativa, é fundamental que em sua primeira aplicação haja uma breve, mas dedicada, apresentação a estes.

É fundamental que todos os componentes do TBL sejam atendidos, pois cada um representa uma parte importante no processo de avaliação e estes melhor operam quando os alunos também contribuem na dinâmica educativa (MICHAELSEN; SWEET, 2008; KRUG et al., 2016).

Neste contexto, de acordo com o estudo de revisão bibliográfica de Marques et al. (2018, p. 8), "a maior parte do material publicado sobre TBL encontra-se no exterior, em especial na língua inglesa, sendo que no Brasil, as publicações ainda são poucas, relevando-se ainda mais a importância da pesquisa sobre este tema, tornando-se mais uma justificativa o estudo e publicação do método TBL no Brasil". Em vista disso, explica-se a escolha desta temática como reflexão e atividade metodológica aplicada na educação superior.

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo se caracteriza por ser de natureza qualitativa do tipo intervenção (MARQUES et al., 2018), pois houve a utilização da metodologia ativa TBL como estratégia de ensino-aprendizagem para a disciplina de "Impactos Ambientais Urbanos". No semestre 2019/I, esta disciplina foi ofertada no 9º nível do curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Meridional, IMED, contando com uma carga horária teórica e prática de 70 horas/aula e sendo ofertada em 4 créditos semanais nas quintas-feiras, tanto no turno da manhã quanto no turno da noite, ambos sob responsabilidade do Prof. Dr. Lauro André Ribeiro. Tal disciplina foi escolhida tendo em vista a familiaridade temática da mestranda com abordagens que envolvem o desenvolvimento sustentável e análises ambientais no campo da Arquitetura e Urbanismo.

O perfil das duas turmas consistia em alunos, em sua maioria, do curso da Arquitetura e Urbanismo e, alguns, do curso de Engenharia Civil. Em ambas as turmas, havia estudantes de diferentes níveis, possibilitando uma ampla análise de conhecimentos gerais e específicos no decorrer da aula. Em sua grandeza, a primeira turma (turno: manhã) contava com um total de 30 alunos e a segunda turma (turno: noite) com 32 alunos inscritos na disciplina, no entanto, na data determinada para a experiência em sala de aula, a turma da manhã continha apenas 23 alunos e a turma da noite 22 alunos presentes. Neste âmbito, na data de 23 de maio de 2019, foram ministradas duas aulas, uma em cada turno, com cumprimento da mesma aula teórica e dinâmica metodológica.

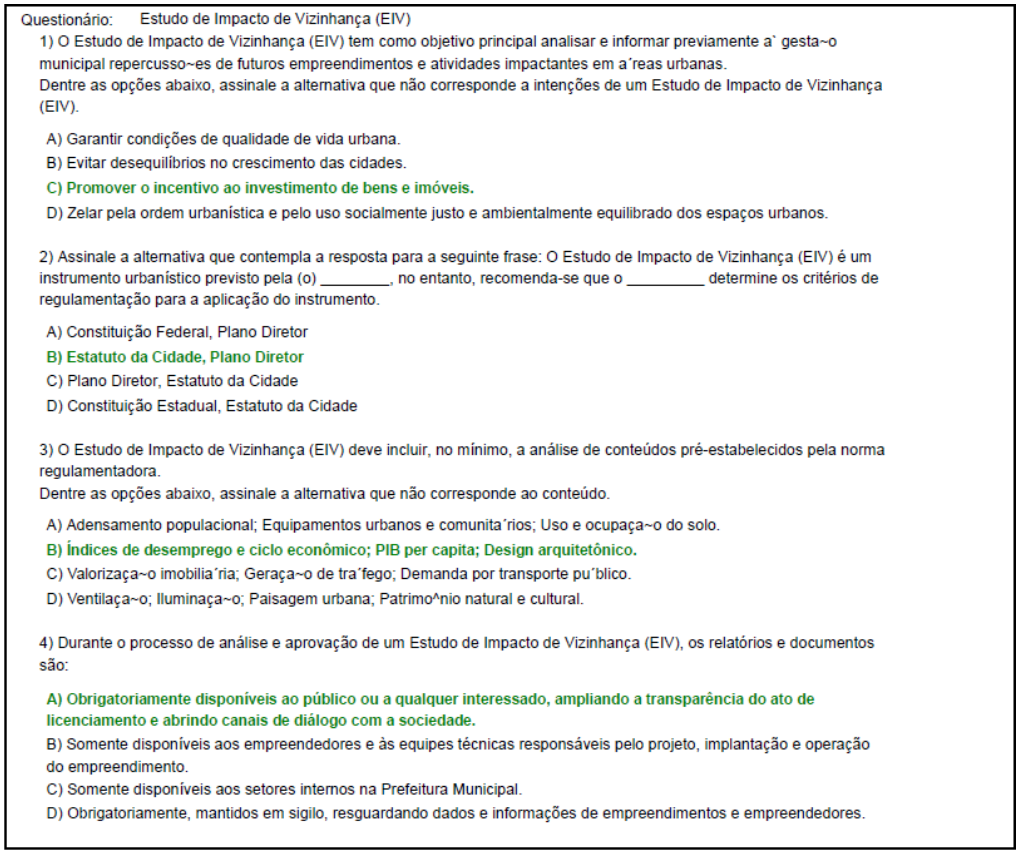
Como condição metodológica inicial, foi aplicada uma aula teórica sobre a temática do "Estudo de Impacto de Vizinhança", assunto já conhecido pelos estudantes e, na atual fase semestral em que se encontravam, contando com o desenvolvimento de um "Relatório de Impacto de Vizinhança". Nesse sentido, optou-se por inserir uma aula teórica que abordasse estudos de casos, a fim de contribuir no conhecimento sobre o tema e aprimorar o desenvolvimento crítico, reflexivo e criativo no desenvolvimento do relatório.

Em um segundo momento, após a aula expositiva, foi optado por utilizar a plataforma online e gratuita TBL Active para o auxílio da aplicação da metodologia ativa *Team Based Learning* (TBL) (TBL ACTIVE, 2019). A escolha deste recurso surgiu como forma de avaliar o desempenho individual e em grupo sobre a temática abordada anteriormente e, ainda, introduzir artifícios tecnológicos na dinâmica universitária.

O TBL Active é uma ferramenta desenvolvida em 2018 pela Profa. Ana Paula Ambrósio Zanelato Marques, permitindo que professores e alunos se conectem simultaneamente em uma sala virtual (MARQUES et al., 2018; TBL ACTIVE, 2019).

A ferramenta possibilitou a interatividade entre os estudantes, dos estudantes e professor e de todos com a tecnologia. A plataforma pôde ser operada em qualquer dispositivo eletrônico com acesso à internet – computadores, tablets, smartphones – e tem o papel de mediador entre o professor e os alunos. Primeiramente, o professor realizou um cadastro e elaborou um modelo de questionário a ser aplicado aos alunos em sala de aula (MARQUES et al., 2018; TBL ACTIVE, 2019).

O questionário desenvolvido para a atividade consistiu em quatro perguntas (Figura 1), cada uma contendo quatro alternativas.



Questionário: Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV)

1) O Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) tem como objetivo principal analisar e informar previamente a` gesta~o municipal repercusso~es de futuros empreendimentos e atividades impactantes em a´reas urbanas.
Dentre as opções abaixo, assinale a alternativa que não corresponde a intenções de um Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV).

A) Garantir condições de qualidade de vida urbana.
B) Evitar desequilíbrios no crescimento das cidades.
C) Promover o incentivo ao investimento de bens e imóveis.
D) Zelar pela ordem urbanística e pelo uso socialmente justo e ambientalmente equilibrado dos espaços urbanos.

2) Assinale a alternativa que contempla a resposta para a seguinte frase: O Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) é um instrumento urbanístico previsto pela (o) _____, no entanto, recomenda-se que o _____ determine os critérios de regulamentação para a aplicação do instrumento.

A) Constituição Federal, Plano Diretor
B) Estatuto da Cidade, Plano Diretor
C) Plano Diretor, Estatuto da Cidade
D) Constituição Estadual, Estatuto da Cidade

3) O Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) deve incluir, no mínimo, a análise de conteúdos pré-estabelecidos pela norma regulamentadora.
Dentre as opções abaixo, assinale a alternativa que não corresponde ao conteúdo.

A) Adensamento populacional; Equipamentos urbanos e comunita´rios; Uso e ocupaça~o do solo.
B) Índices de desemprego e ciclo econômico; PIB per capita; Design arquitetônico.
C) Valorizaça~o imobilia´ria; Geraça~o de tra´fego; Demanda por transporte pu´blico.
D) Ventilaça~o; Iluminaça~o; Paisagem urbana; Patrimo^nio natural e cultural.

4) Durante o processo de análise e aprovação de um Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), os relatórios e documentos são:

A) Obrigatoriamente disponíveis ao público ou a qualquer interessado, ampliando a transparência do ato de licenciamento e abrindo canais de diálogo com a sociedade.
B) Somente disponíveis aos empreendedores e às equipes técnicas responsáveis pelo projeto, implantação e operação do empreendimento.
C) Somente disponíveis aos setores internos na Prefeitura Municipal.
D) Obrigatoriamente, mantidos em sigilo, resguardando dados e informações de empreendimentos e empreendedores.

Figura 1. Questionário desenvolvido para ser aplicado com o uso da metodologia ativa TBL Active.
Fonte: Autores (2019)

Previamente à aplicação do questionário, o professor desenvolveu o peso de cada etapa – individual e em equipe – que foi levado em consideração para o desempenho final de cada aluno. Neste caso, a nota máxima que poderá ser atingida é 100 e esta se valerá em 70% sobre a nota da etapa individual e 30% na nota da etapa em equipe (MARQUES et al., 2018; TBL ACTIVE, 2019). Segundo Krug et al. (2016, p. 604), "a decisão sobre o peso de cada uma destas avalições é flexível e pode ser pactuada com os alunos".

As demais etapas foram realizadas em sala de aula tendo, inicialmente, em ambos os turnos (manhã e noite), a realização de uma breve explicação do plano de aula que iria acontecer neste dia. O cronograma contava com uma breve aula teórica sobre a temática do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) e a aplicação da metodologia ativa *Team Based Learning* (TBL) – Aprendizagem Baseada em Equipes, com o uso da ferramenta TBL Active, com as etapas que a compõe (individual e em equipe) e, por fim, um *feedback* dos alunos e do professor.

A princípio, os estudantes foram convidados a acessar o website (TBL ACTIVE, 2019) registrando o código disponibilizado pelo professor. Todas as etapas realizadas na plataforma, tanto pelo professor quanto pelos alunos, são intuitivas, possibilitando o fácil e livre acesso e progresso na atividade proposta.

Na primeira etapa, realizada individualmente, cada aluno acessou o website do seu dispositivo eletrônico e efetuou seu cadastro (TBL ACTIVE, 2019). Após todos estudantes conectarem, o professor deu início ao questionário. Individualmente, cada aluno respondeu às questões propostas pelo professor, uma de cada vez, atribuindo a cada alternativa valores. De acordo com Marques et al. (2018, p. 11), a atribuição de valores consiste da seguinte maneira:

> A cada questão, o estudante deverá marcar quatro pontos, mas poderá distribuir a pontuação entre as alternativas, caso esteja em dúvida. Assim, o número de acertos será correspondente à pontuação informada. Por exemplo, caso o estudante esteja convicto de que a alternativa A é a correta, então deverá informar quatro pontos nesta questão. Se ele acertar, acumulará quatro pontos. Entretanto, se ele estiver em dúvida entre as alternativas A e B, poderá distribuir quatro pontos entre elas, por exemplo, três pontos para A e um ponto para B. Caso a alternativa A seja a correta, então este aluno acumulará três pontos. E assim sucessivamente, podendo distribuir quantos pontos desejar, desde que o somatório seja equivalente a quatro (MARQUES et al., 2018, p. 11).

A segunda etapa exigiu que apenas um componente do grupo fosse o responsável por acessar o sistema e cadastrar sua equipe, selecionando todos os componentes que compõe a equipe e a designando um nome. Após todas as equipes conectarem, as mesmas perguntas foram respondidas, desta vez em equipe. Porém, o modo de respostas se diferenciou, sendo que apenas uma alternativa fosse marcada como a resposta correta (MARQUES et al., 2018; TBL ACTIVE, 2019).

Nesta segunda etapa o *feedback* acontece instantaneamente, pois a intenção é que em equipe os alunos encontrem a resposta correta o quanto antes. Desse modo, de acordo com Marques et al. (2018, p. 12), "se acertarem na primeira tentativa acumulam quatro pontos, na segunda tentativa acumulam dois pontos, na terceira tentativa acumulam um ponto e na última tentativa zero pontos".

Enquanto os processos das etapas individual e em equipe aconteciam, o professor acompanha em tempo real o desenvolvimento de cada aluno/equipe. O desempenho de cada aluno/equipe era registrado em um *feedback* instantâneo com uma legenda (TBL ACTIVE, 2019).

Ao término das duas etapas, o recurso do TBL Active forneceu um relatório para o professor e para os alunos. Este relatório é composto pelas notas individuais de cada aluno, notas em equipe e o desempenho geral. Poderá o docente identificar conteúdos que devem ser melhor expostos e o desempenho de alunos/equipes (MARQUES et al., 2018; TBL ACTIVE, 2019). Tais relatórios serão expostos e detalhados a seguir, uma vez que os resultados obtidos tem relação direta com os relatórios de desempenho dos alunos, fornecidos pelo software ao final da aula prática e, também, das análises e observações realizadas pelo docente durante as atividades realizadas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após cumprir todas as etapas metodológicas, nesta fase são descritos os resultados conquistados. Inicialmente, durante a aula expositiva teórica os alunos de ambas as turmas se fizeram atentos ao conteúdo apresentado. Logo após, foi solicitado que, individualmente, os estudantes fizessem uso da tecnologia que estivesse em sua disponibilidade, para então efetuar o acesso ao website TBL Active (TBL ACTIVE, 2019) e desenvolver a primeira etapa da atividade.

Para a segunda etapa, os alunos foram convidados a formarem equipes. Na composição das equipes, foi sugerido que mantivessem os grupos em que a turma já estava desenvolvendo o trabalho sobre o Relatório de Impacto de Vizinhança (RIMA), que foram compostos sob livre escolha. Dessa forma, há uma diversidade grande neste arranjo, havendo grupos com diferentes números de integrantes e compostos de distintas maneiras. Apenas uma orientação foi recomendada no início das atividades sobre o RIMA, onde os estudantes do curso de Engenharia Civil se mesclassem entre os alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo, havendo assim, uma troca de conhecimentos e competências profissionais.

A primeira aula do dia 23 de maio de 2019 ocorreu no turno da manhã (Figura 2), onde foi praticado o cronograma apresentado anteriormente.



Figura 2. Turma de Impactos Ambientais Urbanos (turno da manhã) realizando as questões propostas com a metodologia ativa TBL na etapa individual (à esquerda) e em equipe (à direita).
Fonte: Autores (2019)

Neste mesmo dia, segunda aula aconteceu no turno da noite (Figura 3), onde foi desenvolvido o mesmo cronograma realizado no turno anterior.



Figura 3. Turma de Impactos Ambientais Urbanos (turno da noite) realizando as questões propostas com a metodologia ativa TBL na etapa individual (à esquerda) e em equipe (à direita).
Fonte: Autores (2019)

Ao final das atividades, o software disponibilizou dois relatórios ao professor. O primeiro relatório continha os acertos individuais e em equipe dos alunos, com suas respectivas notas finais (Figuras 4 e 6). O segundo relatório, intitulado como gerencial, é composto por análises gráficas baseadas no desempenho nas etapas individuais e em equipe em cada questão (Figura 5 e 7) (MARQUES et al., 2018).

A partir do primeiro relatório (Figura 4) da turma do turno da manhã foi possível verificar o desempenho individual de cada aluno. Deste total, apenas três estudantes obtiveram o desempenho máximo, com nota 100 (em destaque amarelo), sendo que acertaram as quatro questões na etapa individual (70%) e, novamente, na etapa em equipe (30%).

active

Data: 09:35:33
Página 1 de 2

**RELATÓRIO FINAL COM PONTUAÇÃO**

Professor(a): Laura Campagna Basso
Questionário: Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV)
Nota Máxima: 100,00
Período de aplicação: 23/05/2019 a 23/05/2019
% Individual: 70,00 — Nota Máxima Individual: 70,00
% Equipe: 30,00 — Nota Máxima Equipe: 30,00

| RA | Nome | Qtde Acertos Individuais | Pontuação Individual | Qtde Acertos Equipe | Pontuação Equipe | Pontuação Final |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [illegible] | [illegible] | 12 | 52,50 | 14 | 26,25 | 78,75 |
| [illegible] | [illegible] | 12 | 52,50 | 16 | 30,00 | 82,50 |
| [illegible] | [illegible] | 6 | 26,25 | 9 | 16,88 | 43,13 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 14 | 26,25 | 96,25 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 0 | 0 | 70,00 |
| [illegible] | [illegible] | 13 | 56,88 | 16 | 30,00 | 86,88 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 16 | 30,00 | 100,00 |
| [illegible] | [illegible] | 13 | 56,88 | 16 | 30,00 | 86,88 |
| [illegible] | [illegible] | 2 | 8,75 | 9 | 16,88 | 25,63 |
| [illegible] | [illegible] | 14 | 61,25 | 16 | 30,00 | 91,25 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 9 | 16,88 | 51,88 |
| [illegible] | [illegible] | 4 | 17,50 | 14 | 26,25 | 43,75 |
| [illegible] | [illegible] | 13 | 56,88 | 16 | 30,00 | 86,88 |
| [illegible] | [illegible] | 14 | 61,25 | 16 | 30,00 | 91,25 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 16 | 30,00 | 100,00 |
| [illegible] | [illegible] | 15 | 65,63 | 14 | 26,25 | 91,88 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 16 | 30,00 | 100,00 |
| [illegible] | [illegible] | 13 | 56,88 | 16 | 30,00 | 86,88 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 14 | 26,25 | 61,25 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 14 | 26,25 | 96,25 |
| [illegible] | [illegible] | 15 | 65,63 | 14 | 26,25 | 91,88 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 9 | 16,88 | 51,88 |
| [illegible] | [illegible] | 10 | 43,75 | 14 | 26,25 | 70,00 |

Figura 4. Relatório final da turma de Impactos Ambientais Urbanos (turno da manhã).
Fonte: Autores (2019)

Para a avaliação do desempenho dos demais estudantes, foi levado em consideração o segundo relatório (Figura 5), já que este apresenta a atuação geral dos estudantes em cada questão. Em relação à Questão 01, o comportamento individual obteve respostas nos três graus de correção – acertou, errou, acertou parcialmente –, sendo que a maioria acertou à questão, consequentemente, resultando em um melhor desempenho quando a mesma questão foi realizada em grupo, com 100% de acerto. A Questão 02 atingiu uma homogeneidade de respostas nos três graus de correção, em consequência, o desempenho em grupo obteve respostas, em sua maioria corretas, mas também respostas parcialmente corretas. A Questão 03 e a Questão 04 se assemelham muito com o resultado obtido na Questão 01, com acertos, erros e acertos parciais na etapa individual e com expressivo êxito quando o item foi avaliado em equipe.

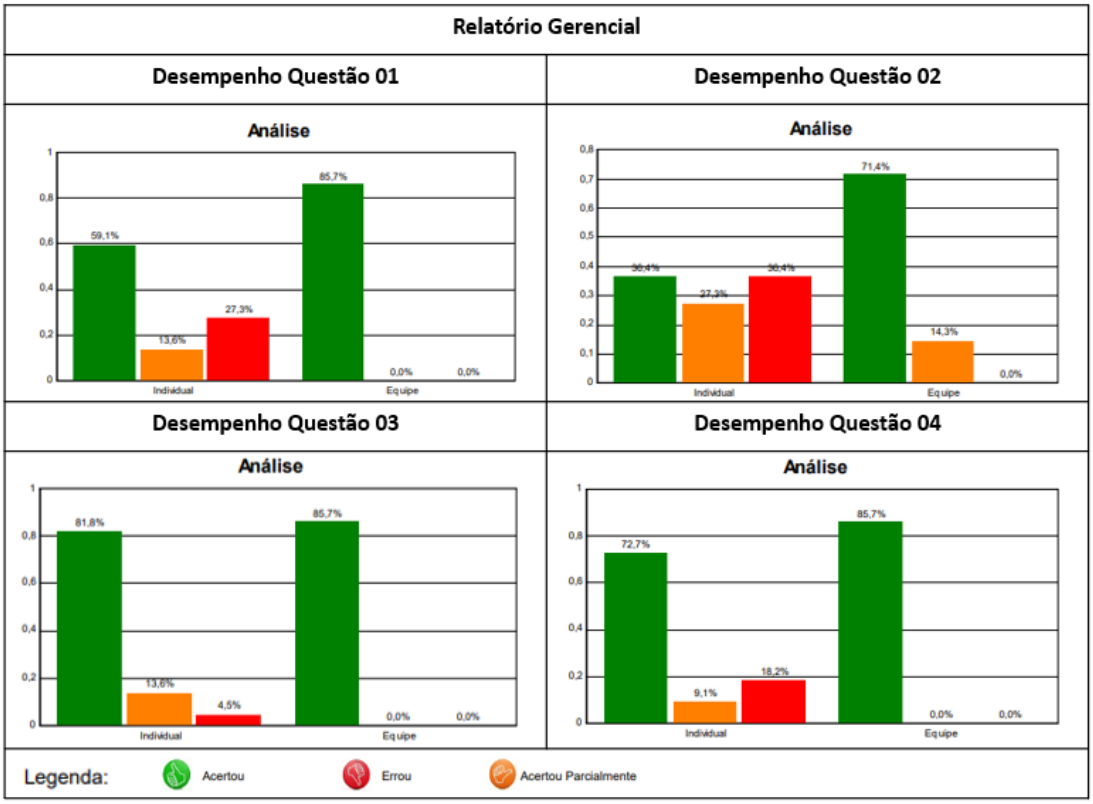
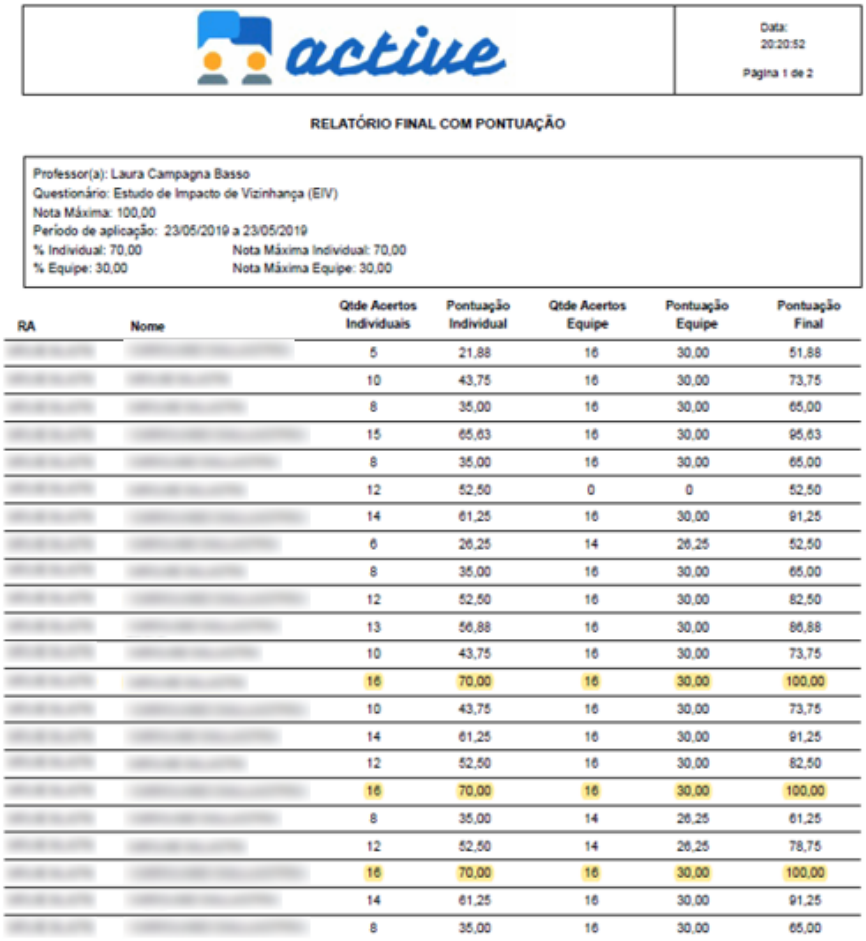



Figura 5. Relatório Gerencial da turma de Impactos Ambientais Urbanos (turno da manhã).
Fonte: Autores (2019)

É possível considerar este segundo relatório como importante na identificação de conteúdos que necessitam ser revistos pelo docente e a avaliação dos desempenhos individuais e em equipe em cada questão. Neste caso, foi possível identificar que o desempenho individual obteve resultados tanto acertados, como acertos parciais e, inclusive, erros em todas as questões. Repercussão esta que classifica o carácter heterogêneo da turma e pode demonstrar as diferentes dificuldades de cada estudante, seja em prestar atenção durante a aula expositiva, até em memorizar conteúdos específicos. Por outro lado, quando a etapa em equipe entrou em ação, os resultados demonstraram um progresso dos acertos nas questões, obtendo em quase sua totalidade computação afirmativa. Portanto, nesta turma, houve um positivo resultado na etapa em equipe, cumprindo com o objetivo principal da metodologia ativa Team Based Learning (TBL), que respalda na aprendizagem baseada em equipe como um método mais eficaz.

Igualmente, a partir do primeiro relatório (Figura 6), foi possível verificar o desempenho individual de cada aluno da turma do turno da noite. Da mesma forma que ocorreu na turma da manhã, três estudantes obtiveram o desempenho máximo, com nota 100 (em destaque amarelo), sendo que acertaram as quatro questões na etapa individual (70%) e, novamente, na etapa em equipe (30%).



Data: 20:20:52

Página 1 de 2

**RELATÓRIO FINAL COM PONTUAÇÃO**

Professor(a): Laura Campagna Basso
Questionário: Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV)
Nota Máxima: 100,00
Período de aplicação: 23/05/2019 a 23/05/2019
% Individual: 70,00 Nota Máxima Individual: 70,00
% Equipe: 30,00 Nota Máxima Equipe: 30,00

| RA | Nome | Qtde Acertos Individuais | Pontuação Individual | Qtde Acertos Equipe | Pontuação Equipe | Pontuação Final |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [illegible] | [illegible] | 5 | 21,88 | 16 | 30,00 | 51,88 |
| [illegible] | [illegible] | 10 | 43,75 | 16 | 30,00 | 73,75 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 16 | 30,00 | 65,00 |
| [illegible] | [illegible] | 15 | 65,63 | 16 | 30,00 | 95,63 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 16 | 30,00 | 65,00 |
| [illegible] | [illegible] | 12 | 52,50 | 0 | 0 | 52,50 |
| [illegible] | [illegible] | 14 | 61,25 | 16 | 30,00 | 91,25 |
| [illegible] | [illegible] | 6 | 26,25 | 14 | 26,25 | 52,50 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 16 | 30,00 | 65,00 |
| [illegible] | [illegible] | 12 | 52,50 | 16 | 30,00 | 82,50 |
| [illegible] | [illegible] | 13 | 56,88 | 16 | 30,00 | 86,88 |
| [illegible] | [illegible] | 10 | 43,75 | 16 | 30,00 | 73,75 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 16 | 30,00 | 100,00 |
| [illegible] | [illegible] | 10 | 43,75 | 16 | 30,00 | 73,75 |
| [illegible] | [illegible] | 14 | 61,25 | 16 | 30,00 | 91,25 |
| [illegible] | [illegible] | 12 | 52,50 | 16 | 30,00 | 82,50 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 16 | 30,00 | 100,00 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 14 | 26,25 | 61,25 |
| [illegible] | [illegible] | 12 | 52,50 | 14 | 26,25 | 78,75 |
| [illegible] | [illegible] | 16 | 70,00 | 16 | 30,00 | 100,00 |
| [illegible] | [illegible] | 14 | 61,25 | 16 | 30,00 | 91,25 |
| [illegible] | [illegible] | 8 | 35,00 | 16 | 30,00 | 65,00 |

Figura 6. Relatório final da turma de Impactos Ambientais Urbanos (turno da noite).
Fonte: Autores (2019)

Na avaliação da atuação dos demais estudantes, foi levado em consideração o segundo relatório (Figura 7), já que este apresenta a atuação geral dos alunos em cada questão. Em relação a Questão 01, o comportamento individual obteve respostas nos três graus de correção – acertou, errou, acertou parcialemnte –, sendo que a maioria acertou a resposta da questão, em consequência, o desempenho em grupo obteve respostas, em sua maioria corretas, mas também respostas parcialmente corretas. A Questão 02, também atingiu respostas nos três graus de correção com maioria correta, por conseguinte, o desempenho em grupo obteve respostas, em sua maioria corretas, mas também respostas parcialmente corretas e erradas. A Questão 03 e a Questão 04, se assemelham muito com o resultado obtido na Questão 01, com acertos, erros e acertos parciais na etapa individual e em sua maioria com acertos quando o item foi avaliado em equipe.

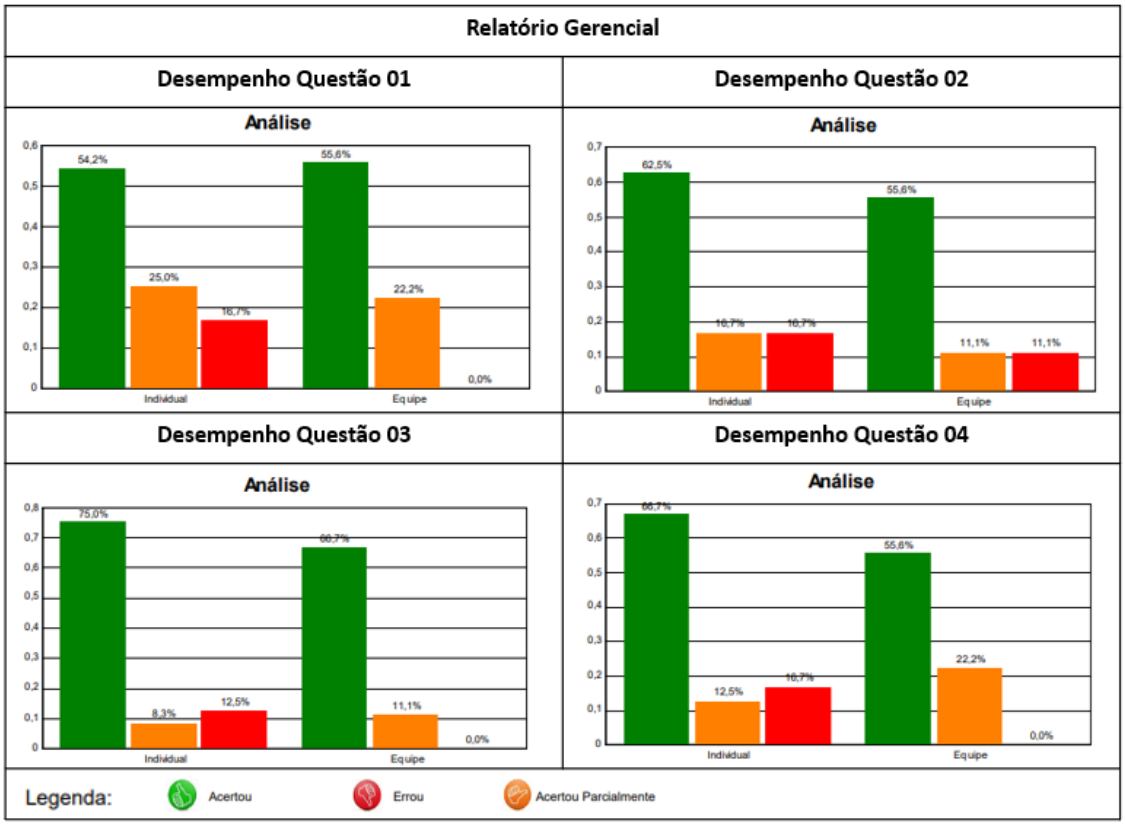



Figura 7. Relatório Gerencial da turma de Impactos Ambientais Urbanos (turno da noite).
Fonte: Autores (2019)

Na situação da turma da noite, também foi possível constatar que o desempenho individual obteve resultados tanto corretos, como acertos parciais e, inclusive, erros em todas questões. Caracterizando um diversificado conjunto de estudantes. Porém, quanto ao desempenho da etapa em equipe, diferentemente da turma do turno da manhã, o turno da noite não obteve um resultado tão meritório nesta fase, apresentando nesta última etapa, persistemtes dúvidas quanto ao conteúdo teórico exposto, consequentemente, apontando uma fragilidade de entendimento do conteúdo pela maioria dos estudantes. Este tipo de resultado pode vir a anunciar uma possível revisão sobre a matéria.

Por fim, foi constatado que uma das vantagens no uso da plataforma TBL Active (2019), é que esta dispõe ao docente um *feedback* imediato, isto é, durante e após a aplicação do método, o professor obtém informações e um relatório final da atividade desempenhada pelos estudantes, podendo assim, identificar conteúdos que carecem de maior atenção. Além disso, este relatório é disposto a todo estudante que participou da atividade, contendo seu desempenho individual e em equipe.

A experiência descrita acima demonstra que o TBL se consagra efetivamente como uma metodologia ativa, pois não há restrições à quantidade mínima e máxima de alunos presentes em sala de aula para que a atividade seja realizada, viabilizando o método em diversas circunstâncias. Aliás, esta ferramenta educativa corrobora que ao enfrentar os desafios do atual processo de ensino-aprendizagem, alteram-se os pensamentos e consequentemente as formas de agir.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao considerar o uso da tecnologia no processo de ensino-aprendizagem um desafiador caminho a ser percorrido, o relato de experiência em sala de aula revelou-se uma estimulante e cooperativa ação entre professor e alunos. Neste cenário, estudos como este que abordam modelos de metodologias ativas no ensino e aprendizagem na educação superior, se justificam e buscam atentar à importância de se fomentar pesquisas nesta temática. Ademais, métodos como este demonstram que o ensino e aprendizagem podem ser diferenciados e atrativos para os estudantes e para os professores, buscando sempre manter sua eficácia. Além do mais, o relato de experiência mostrou-se fundamental em uma atuação pedagógica de uma mestranda na figura de docente.

A atuação nas duas turmas teve um significativo resultado e demonstra que mesmo turmas da mesma disciplina, com o mesmo professor e que contenham a mesma dinâmica desenvolvida, podem desenvolver desempenhos diferentes. Estes resultados obtidos foram avaliados como decorrentes das características pessoais diversificadas que cada turma continha e ao nível de atenção e memorização de conteúdos recentemente abordados. Além disso, de acordo

com um feedback em sala de aula, alunos e professor concordaram que o website TBL Active contém uma dinâmica intuitiva, ou seja, as ações desenvolvidas são de forma facilitada e realizadas pelo aluno/professor conforme as etapas do software se desenrolam.

Espera-se que este artigo contribua para disseminação sobre estratégias pedagógicas e a temática da Aprendizagem Baseada em Equipe (ABE) ou Team Based Learning (TBL), assegurando a sua aplicação em mais áreas da educação brasileira.

## REFERÊNCIAS

Bittencourt, P. A. S.; Albino, J. P., 2017. "O uso das tecnologias digitais na educação do século XXI". *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, v. 12, n. 1, p. 205-214.

Bordenave, J. D.; Pereira, A. M., 2014. *"Estratégias de ensino-aprendizagem"*. Petrópolis: Vozes.

Castells, M., 2003. "*A galáxia da internet: reflexões sobre a internet, os negócios e a sociedade*". Ed. Zatar.

Castells, M., 2016. "*O poder da comunicação*". Ed. Paz & Terra.

Cortella, M. S., 2014. "*Educação, escola e docência: novos tempos, novas atitudes"*. São Paulo: Cortez.

Krug, R. de R.; Vieira, M. S. M.; Andrade e Maciel, M. V.; Erdmann, T. R.; Vieira, F. C. de F.; Koch, M. C.; Grosseman, S., 2016. O "Bê-Á-Bá" da Aprendizagem Baseada em Equipe. *Revista brasileira de educação médica, Universidade Federal de Santa Catarina*, Florianópolis/SC, v. 40, n. 4, p. 602-610.

Marques, A. P. A. Z.; Message, C. P.; Gitahy, R. A. R. C.; Souza, S. O, 2018. A experiência da aplicação da metodologia ativa Team Based Learning aliada a tecnologia no processo de ensino e aprendizagem. *Congresso Internacional de Educação e Tecnologias (CIET-EnPED)*. 11 Jun 2019http://cietenped.ufscar.br/submissao/index.php/2018/article/view/271>.

Michaelsen, L. K.; Sweet, M., 2008. "*The Essential Elements of Team-Based Learning"*. New Directions for Teachins and Learning.

TBL Active. *Metodologias Ativas.* 24 Mai. 2019 <https://www.tblactive.com.br>.

## NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE PARA IDOSO EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

**Letícia Regina Pereira Banhara**
**Emerson Rafael Galli**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Erechim.
Endereço da instituição: RS-331, Demoliner, Erechim/RS CEP: 99700-000
leti_0905@hotmail.com
emerafael2016@gmail.com

***Resumo:*** *O crescimento da população idosa no Brasil demanda mudanças urgentes no modo de concepção dos projetos arquitetônicos. A habitação de interesse social é a principal forma de inclusão social. O programa Minha Casa, Minha Vida criado pelo governo federal em 2009 visa diminuir o déficit de moradias no Brasil, contudo as residências construídas não são acessíveis a todos os brasileiros. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise quanto a acessibilidade para idosos em uma residência pertence a um conjunto habitacional de interesse social do programa MCMV, localizada em uma cidade na Região do Alto Uruguai do Rio Grande do Sul, baseando-se nos princípios do Desenho Universal e da NBR9050. Foram analisados os seguintes itens: acesso ao condomínio, dimensões das portas, escada e banheiro.*

***Palavras chave:*** *Acessibilidade, habitação de interesse social, residência, idosos, acessível*

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Ely *et al.* (2006) o aumento da população idosa nas cidades brasileiras tem preocupado os estudiosos das áreas de arquitetura e ergonomia. Em função do processo de envelhecimento, os idosos demandam necessidades espaciais diferentes, que devem consideradas ao se projetar ambientes para que sejam acessíveis, confortáveis e adequados ergonomicamente.

A habitação de interesse social é uma das mais importantes estratégias de inclusão social, uma moradia digna representa a liberdade e a proteção para as pessoas (Furnaletto *et al*., 2013).

O presente artigo tem como objetivo apresentar uma análise quanto a acessibilidade para idosos em uma residência pertencente a um conjunto habitacional de interesse social localizada em uma cidade na Região do Alto Uruguai do Rio Grande do Sul. Este trabalho desenvolvido na disciplina de Realidade Brasileira do curso de Arquitetura e Urbanismo. Baseando-se em uma metodologia de coleta de dados e entrevista, de caráter exploratório, por meio de uma pesquisa de campo.

## 2. ENVELHECIMENTO POPULACIONAL NO BRASIL

O Estatuto do Idoso (Lei Federal nº 10.741, de 1º de outubro de 2003) considera idosas as pessoas que tem 60 anos ou mais. A mesma Lei estabelece que o idoso tem direito à moradia digna, no seio da família natural ou substituta, ou desacompanhado de seus familiares, quando assim o desejar, ou, ainda, em instituição pública ou privada (BRASIL, 2019).

Para Bordignon:

> O envelhecimento é associado a um processo biológico de declínio das capacidades físicas, relacionado a novas fragilidades psicológicas e comportamentais. Então, o estar saudável deixa de ser relacionado com a idade cronológica e passa a ser entendido como a capacidade do organismo de responder às necessidades da vida cotidiana, a capacidade de motivação física e psicológica para continuar na busca de novos objetivos e conquistas pessoais e familiares (Bordignon, 2014, p. 27).

Conforme o Relatório Mundial de Saúde e Envelhecimento de 2015, o número de pessoas com mais de 60 anos no Brasil deverá crescer muito mais rápido do que a média internacional. Enquanto a quantidade de idosos vai duplicar no

mundo até o ano de 2050, no nosso país triplicará. A porcentagem atual de idosos é de 12,5% e deve alcançar os 30% até 2050. Ou seja, logo seremos considerados uma "nação envelhecida" — de acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS essa classificação é dada aos países com mais de 14% da população constituída de idosos, como são atualmente França, Inglaterra e Canadá, por exemplo (Knoploch, 2015).

Verifica-se também uma maior migração da área rural para a área urbana. Frente a isso, as cidades contam com um maior número de pessoas idosas, entre elas as que moram sozinhas, estas, em maior número, são mulheres viúvas, segundo dados do IBGE de 2011 (Silva *et al.*, 2015).

O envelhecimento pode significar solidão, maior dependência dos outros, menor força física, perda da coordenação, etc. Os idosos tendem a experimentar uma sensação de perda de posição social (Barbosa *et al.*, 2014).

Envelhecer significa também uma redução da capacidade sensorial, perda de visão, audição e senso de equilíbrio e diminuição de suas habilidades para responder aos estímulos do ambiente. Com a diminuição dos sentidos, os idosos recebem menos informações sobre o que acontece ao seu redor e seu senso de perceber o ambiente pode ficar comprometido por configurações complicadas e mal demarcadas. Essa sensação de incompetência pode confirmar a necessidade do idoso em se retirar do convívio social (Barbosa *et al.*, 2014).

## 3. HISTÓRICO DA HABITAÇÃO SOCIAL NO BRASIL

Conforme Tsujii (2014) a Habitação de Interesse Social, no conceito entendido atualmente, surgiu com o advento da Revolução Industrial na Europa, no século XVIII. A mudança dos processos de produção e a utilização intensiva de mão de obra na indústria provocou a migração das populações do meio rural para os centros industriais, modificando o perfil da sociedade para características de grande concentração populacional no meio urbano.

No Brasil, a habitação social surge também como consequência da demanda de um grande número de habitações em decorrência de migrações acentuadas do meio rural para as cidades a partir de 1950, em função, principalmente, da industrialização, assim como do próprio crescimento significativo da população brasileira (Reis *et al.*, 2010).

Ainda de acordo com Reis *et al.* (2010) no final da década de 50, a população urbana brasileira já era 70% maior do que no começo daquela década. Esse crescimento gerou a falta de habitações, provocando a multiplicação de cortiços e de habitações autoconstruídas, normalmente nas periferias urbanas, que viriam a estabelecer as favelas.

De acordo com Linke *et al.* (2016) foi em 2009 que o governo federal lançou o programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) e que, desde então, vem mobilizando um enorme volume de recursos no Brasil para construção de habitação social, com o intuito de enfrentar o déficit de moradias.

Além de buscar combater o déficit habitacional, este programa também tinha o objetivo de estimular a economia. Incluído no PAC (Programa de Aceleração do Crescimento), o MCMV fez parte de uma estratégia de resposta à crise financeira mundial de 2008; visando o crescimento econômico, a geração de emprego e de renda por meio da indústria da construção. Na prática, foram priorizadas a quantidade e a velocidade das construções em prejuízo da qualidade das unidades habitacionais (Linke *et al.*, 2016).

Para os idosos, a moradia e o ambiente são particularmente importantes devido a fatores como a acessibilidade e a segurança. É fato reconhecido que uma moradia satisfatória pode trazer benefícios para a saúde e o bem-estar (Prado *et al.*, 2010).

A Constituição Federal de 1988, o Estatuto da Cidade (Lei 10.257/01), o Estatuto do Idoso (Lei 10.741/03) e as diretrizes do Desenho Universal de Acessibilidade Urbana e de Edificações são instrumentos que possibilitam contribuir individuais para que se tornem acessíveis e funcionais a todos, e que contemplem a promoção do envelhecimento ativo e saudável (Silva *et al.*, 2015).

## 4. ACESSIBILIDADE COMO MEIO DE INCLUSÃO SOCIAL PARA IDOSOS

Ao projetar um ambiente adequado para os idosos, ao mesmo tempo, deve-se observar todos os aspectos, sem impedir de nenhuma maneira o uso social de outros indivíduos. Só assim, estaremos trabalhando no sentido de possibilitar a interação da pessoa, com todas as suas características, e o meio em que vive (Prado *et al.*, 2010).

O arquiteto criador da terminologia "Desenho Universal", Ron Mace (1941-1998) era cadeirante e respirava com uso de aparelho. Mace na percepção de aprimorar as coisas que se projeta, tornando-as utilizáveis para todos. Juntamente com outros profissionais estabeleceram os sete princípios do Desenho Universal (Romanini *et al.*, 2014).

De acordo com Romanini *et al.* (2014), os setes princípios são:

- Equitativo/Igualitário: ambientes, objetos e produtos que podem ser usados por pessoas com diferentes capacidades, tornando todos os espaços iguais;
- Uso flexível/Adaptável: planejar produtos que atendam pessoas com habilidades distintas, sendo adaptáveis a diferentes formas de uso;
- Uso simples e intuitivo: de simples entendimento, compreensível para qualquer pessoa independente de sua idade, conhecimento, habilidade de linguagem ou nível de concentração;

- Informação de fácil percepção: quando a informação necessária é comunicada de modo que atenda às necessidades do receptador;
- Tolerância ao erro/Seguro: previsto para minimizar riscos e possíveis consequências de ações eventuais ou não propositais;
- Esforço físico mínimo: para ter seu uso eficaz, com comodidade e o mínimo de fadiga;
- Dimensionamento de espaços para acesso e uso abrangente: que determina dimensões e espaços adequados para o acesso, alcance, manipulação e uso, independente das dimensões de um corpo, da postura ou mobilidade do usuário.

Segundo Silva *et al.* (2015) o Desenho Universal refere-se a um projeto de estratégias que tem o intuito de tornar o local acessível e de alcance ao maior número de pessoas possível, visando o desempenho funcional com o mínimo de esforço físico, usufruindo do espaço com segurança e autonomia.

Esta diretriz vem evoluindo e alterando a maneira de se conceber os projetos. Aplicados em vários tipos de construções, tendo como meta principal promover a acessibilidade e a usabilidade de todos os espaços e equipamentos (Gaia, 2005).

Com o avanço da tecnologia e a necessidade de garantir a acessibilidade nas edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos, a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) criou a Norma Brasileira 9050 (Agnelli, 2012). Esta Norma estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade (ABNT, 2015).

A NBR 9050 (2015) estabelece como conceito de acessibilidade a possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privado de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou mobilidade reduzida.

De acordo com Ely *et al.* (2006) o tema "acessibilidade espacial" está se tornando cada vez mais comum em nosso país e refere-se à possibilidade de plena integração entre as pessoas e os ambientes, sem segregá-las e permitindo que as atividades sejam realizadas com êxito, por todos os diferentes usuários. Garantir a acessibilidade para todos é uma tarefa difícil, pois deve-se abranger as necessidades espaciais de pessoas com as mais diferentes restrições.

Unidades habitacionais projetadas mediante os princípios do Design Universal podem receber qualquer ocupante independente de ser ou não portador de deficiência, idoso, com pouca instrução, ou qualquer outra característica que exigiria tratamento diferenciado. Seu custo-benefício final seria de enorme valia, pois, os ocupantes não necessitam efetuar adaptações à medida que envelhecessem (Gaia, 2005).

## 5. METODOLOGIA

O presente artigo foi resultado de um trabalho realizado na disciplina de Realidade Brasileira, com o intuito de aplicar o conhecimento adquirido em sala de aula a partir de uma análise em relação a acessibilidade para idosos em uma habitação de interesse social.

Para desenvolver este trabalho foram utilizados alguns dos métodos descritos por Rheingantz et al. (2009) no livro "Observando a qualidade do lugar/Procedimentos para a avaliação pós-ocupação".

Produziu-se um Mapa Mental baseado nas percepções em relação à residência, que, segundo Rheingantz et al. (2009), é um instrumento baseado na elaboração de desenhos ou relatos de memória representativas das ideias ou da imageabilidade que uma pessoa ou um grupo de pessoas têm de um determinado ambiente.

Posteriormente, foi realizada uma entrevista com os moradores da residência em análise. Rheingantz et al. (2009), estabelece que a entrevista é uma das principais técnicas de trabalho em quase todos os tipos de pesquisas e pode ser definida como relato verbal ou conversação com um determinado objetivo. Gera um conjunto de informações sobre o que as pessoas pensam, sentem, fazem, conhecem, acreditam e esperam.

Foi escolhida a Entrevista Estruturada para ser aplicada na residência. Sendo que para Rheingantz et al. (2009) uma entrevista estruturada é onde o entrevistador segue um roteiro previamente programado e impresso em um formulário, servindo como roteiro para a conversação.

Este estudo baseou-se em uma metodologia de coleta de dados e entrevista, de caráter exploratório, por meio de uma pesquisa de campo. Dessa forma, a fonte da coleta de dados para a análise deste estudo foram as entrevistas realizadas com os moradores da residência, o desenvolvimento de um mapa mental e os registros fotográficos.

## 6. ESTUDO DE CASO

A coleta de dados foi realizada através de pesquisa, entrevista e registro fotográficos no local nos dias 11/05/2019 e 18/05/2019. Inicialmente foi feito contato prévio com os moradores da residência para esclarecimentos sobre os procedimentos adotados. Foram analisados os seguintes itens: acesso ao condomínio e dimensões das portas, escadas e banheiro da habitação.



Figura 01. Fachada do condomínio residencial.
Fonte: Autores (2019).

Ressalta-se que na residência em análise, atualmente mora um jovem de 20 anos e um casal adulto de 42 e 47 anos. É possível observar na figura 01 que o acesso ao condomínio residencial está no nível da rua, facilitando a circulação de pessoas. Entretanto, percebe-se que não existe piso tátil no passeio público conforme está estabelecido na NBR 9050 (2015).

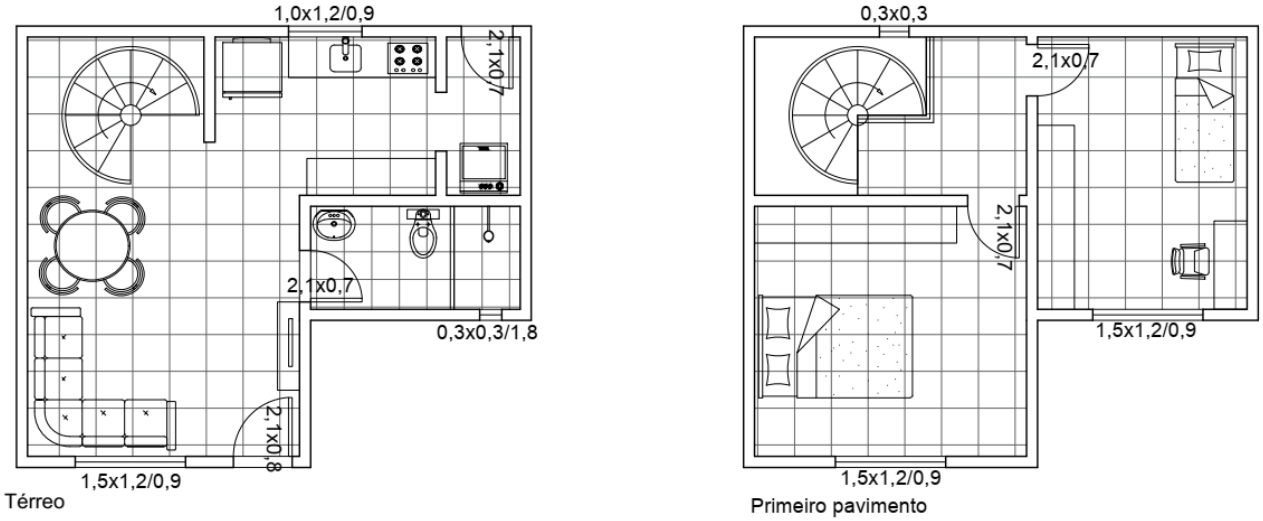



Figura 02. Planta Baixa Térreo e Primeiro Pavimento.
Fonte: Autores (2019).

A figura 02 apresenta um esquema das plantas baixas da residência analisada. A porta de acesso principal da casa está dentro dos padrões normativos, contudo as portas internas de 0,7x2,1 metros. A dimensão de 0,8x2,1 metros é o mínimo para a passagem de um cadeirante segundo a NBR 9050. Se na casa residisse um idoso ou qualquer pessoa, que um dia precisasse utilizar cadeira de rodas, esta dimensão impossibilitaria a circulação com este equipamento. Estando em desacordo com o princípio de Dimensionamento de espaços para acesso e uso abrangente, do Desenho Universal.

Os dormitórios estão no primeiro pavimento e seu acesso é por meio de uma escada helicoidal de metal (figura 03). Observa-se que os degraus são lisos devido o tipo de material da escada e que o corrimão existe somente em um dos lados da escada, sendo que a NBR 9050 estabelece a instalação do mesmo em ambos os lados.

A escada (figura 03) possui a largura de 1 metro, dimensão que está em desacordo com a norma que prevê o mínimo de 1,2 metros. Também por ter seu formato helicoidal existe o estreitamento dos degraus até seu centro, tornando sua

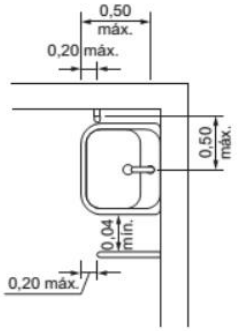
circulação perigosa e suscetível à acidentes. Contrariando os princípios de Esforço físico mínimo e Tolerância ao erro, estabelecidos pelo D. U.



Figura 03. Escada Helicoidal.
Fonte: Autores (2019).

Ao analisar o banheiro, localizado no térreo, percebe-se que sua dimensão é inadequada se um cadeirante precisasse utilizar. Um idoso conseguiria utilizar esse sanitário, entretanto recomenda se a instalação de barras de apoio próximo ao lavatório, ao vaso sanitário e no box para chuveiro, garantindo assim a segurança do idoso. O mesmo pode ficar fraco ao levantar do vaso sanitário ou sentir-se tonto enquanto toma banho, por exemplo, e as barras serviriam de apoio para o idoso não se machucar. Também é recomendado a instalação de um banco no box para chuveiro, que facilitaria o momento de higienização.

A NBR 9050 (2015) estabelece diretrizes para a instalação das barras de apoio, conforme pode-se observar nas figuras 04, 05 e 06 abaixo.




**c) Barras horizontais e vertical**

Figura 04. Barras horizontais e verticais para bacia sanitária.
Fonte: NBR 9050 (2015).

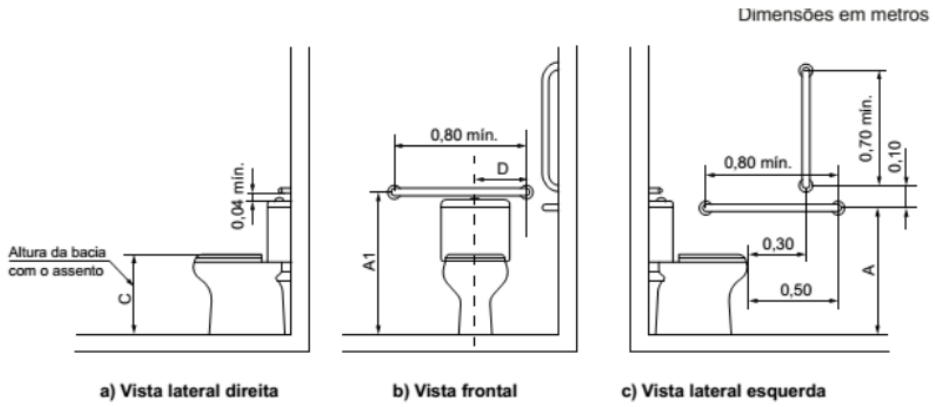



Figura 05. Barras horizontais e verticais para vaso sanitário.
Fonte: NBR 9050 (2015).

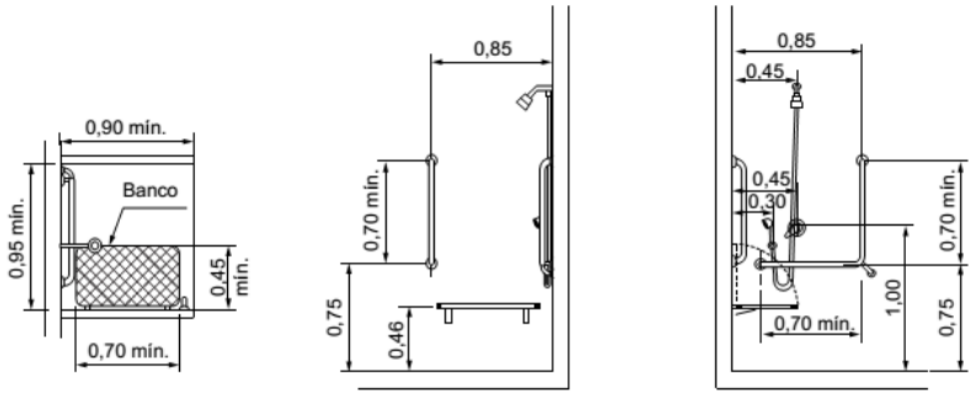



Figura 06. Barras horizontais e verticais para box.
Fonte: NBR 9050 (2015).

Foi realizado uma entrevista com os moradores da residência. Apesar de todos relatarem que não tem nenhuma dificuldade de se locomover na casa, os mesmos acreditam que um idoso iria encontrar dificuldade ao subir a escada para acessar o primeiro pavimento. Também acreditam que as dimensões das portas, o banheiro e a escada não são acessíveis para todas as pessoas. Contudo, os entrevistados acreditam que o acesso ao condomínio é acessível a todas as pessoas, conforme figuras 07, 08 e 09.

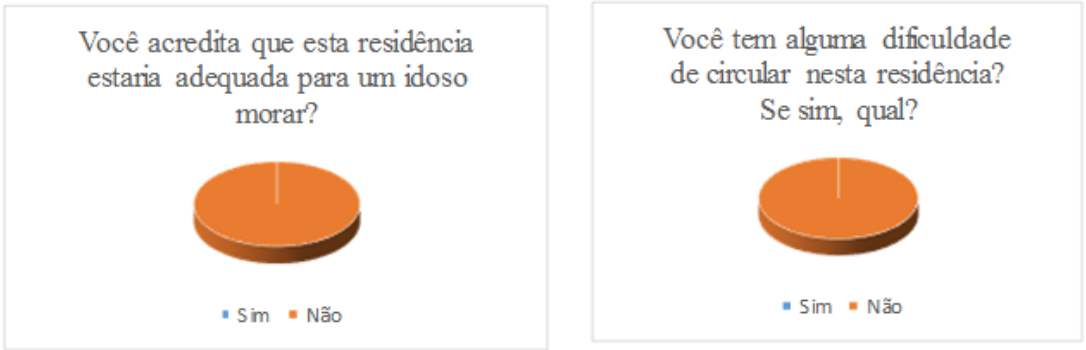



Figura 07. Gráfico com resultado da entrevista.
Fonte: Autores (2019).

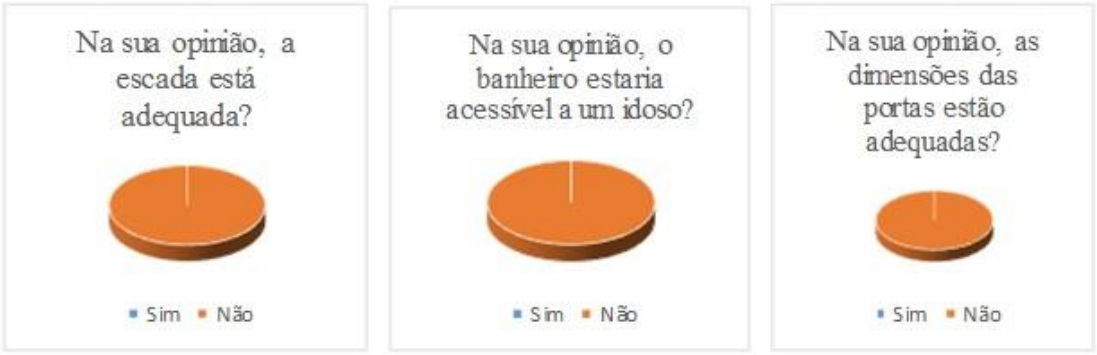



Figura 08. Gráfico com resultado da entrevista.
Fonte: Autores (2019).

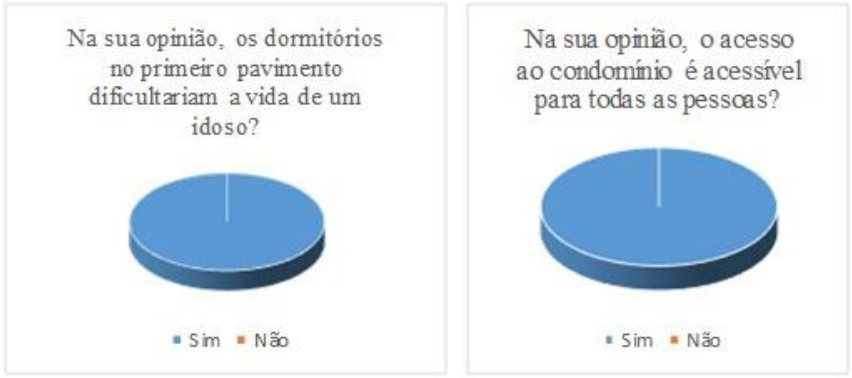



Figura 09. Gráfico com resultado da entrevista.
Fonte: Autores (2019).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função do grande crescimento da população idosa no Brasil, é fundamental que se compreenda suas necessidades espaciais, ao se projetar quaisquer espaços. Considera-se de extrema importância, que as residências sejam projetadas de acordo com as normas de acessibilidade e desenho universal.

Sabe-se que uma residência não deve apenas proporcionar sua função básica, mas também conforto, segurança, autonomia e independência para as pessoas, alcançando a todos. Desta forma, as diretrizes do Desenho Universal, bem como a NBR 9050 auxiliam a projetar ambientes adequados.

Nesse sentido, para um envelhecimento saudável e ativo a responsabilidade não é individual, mas sim de uma rede composta por toda a sociedade. Oferecer suporte, além de mecanismos que garantam os direitos fundamentais da pessoa idosa com relação à moradia digna, conforme estabelecido em lei.

O grande desafio é fazer com que os governos municipais, estaduais e federal implantem políticas de habitação adequadas às pessoas que estão envelhecendo e garanta na aprovação dos projetos de obras a aplicação da legislação que propõe edificações de acordo com Desenho Universal e com a NBR 9050.

## 8. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas. “NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbano”. 2015. Rio de Janeiro, 2015.

Agnelli, L. B. “Avaliação da acessibilidade do idoso em sua residência”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2012.

Barbosa, E. S.; Araújo, E. P. “Edifícios e habitações sociais humanizados para idosos”. *In Universitas: Arquitetura e Comunicação Social*, Vol. 11, Nº. 2 p. 7-16, 2014.

Bordignon, K. K.O. “Envelhecimento Humano e Contemporaneidade: reflexões sobre a questão da acessibilidade”. Dissertação (Mestrado em Envelhecimento Humano) - Universidade de Passo Fundo, 2014.

Brasil. “LEI No 10.741, DE 1º DE OUTUBRO DE 2003”. 29 Abr. 2019. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.741.htm>.

Ely, V. H. M. B.; Dornelles, V. G. "ACESSIBILIDADE ESPACIAL DO IDOSO NO ESPAÇO LIVRE URBANO". In: *14º Congresso Brasileiro de Ergonomia, 4º Fórum Brasileiro de Ergonomia, 2º ABERGO JOVEM - II Congresso Brasileiro de Iniciação em Ergonomia*. Curitiba, 2006.

Furlanetto, C. H. P.; Kalil, R. M. L. "QUALIDADE URBANA E MOBILIDADE: CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL". Ação Ergonômica, Revista Brasileira de Ergonomia, Vol. 8, Nº. 2 p. 1-17, 2013.

Gaia, S. "HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL PARA A TERCEIRA IDADE SOB A ÓTICA DOS PRINCÍPIOS DE ACESSIBILIDADE PROMOVIDOS PELO DESIGN UNIVERSAL". Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, 2005.

Knoploch, C. "Idosos serão um quinto do planeta em 2050, diz OMS". O Globo. 31 Mar. 2019. <https://oglobo.globo.com/sociedade/saude/idosos-serao-um-quinto-do-planeta-em-2050-diz-oms-17649843>.

Linke, C.; Serra, B.; Garrefa, F.; Araújo, D. C.; Villa, S. B.; Nadalin, V. G.; Krause, C.
"INSERÇÃO URBANA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: UM OLHAR SOBRE MOBILIDADE COTIDIANA E USO DO SOLO". *Texto para discussão/ Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*. IPEA, Rio de Janeiro, 2016.

Prado, A. R. A.; Besse, M.; Lemos, N. D. "Moradia para o idoso: uma política ainda não garantida". *Caderno Temático Kairós Gerontologia*, Vol. 8 p. 05-17, São Paulo, 2010.

Reis, A. T. L.; Lay, M. C. D. "O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social". *Revista Ambiente Construído*, v. 10, n. 51, p. 99 –119, 2010.

Rheingantz, P.A.; Azevedo, G.A.; Brasileiro, A.; Alcantara, D.; Queiroz, M. "Observando a qualidade do lugar: procedimentos para a avaliação pós-ocupação". Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Pós-Graduação em Arquitetura, 2009.

Romanini, A.; Martins, M. S. "PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL INCLUSIVA". In: *Nutau, USP*. São Paulo, 2014.

Silva, N. M.; Varoto, V. A. G.; Monteiro, L. C. A.; Bernadinelli, I. "Necessidades próprias da (c)idade: espaços acessíveis e funcionais para idosos". *Serviço Social em Revista*, Vol. 18, Nº. 1 p. 219 – 234, 2015.

Tsujii, A. Y. "HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL COM ACESSIBILIDADE UNIVERSAL". Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

## 9. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# A INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA NO ENVELHECIMENTO ATIVO

**Letícia Regina Pereira Banhara, Vanessa Tibola da Rocha**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Erechim, endereço institucional: RS-331, Demoliner, Erechim/RS CEP: 99700-000
E-mail: leti_0905@hotmail.com, vanessarocha@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O envelhecimento populacional representa uma conquista da sociedade e, simultaneamente, um desafio pois envolve mudanças biológicas, psicológicas e sociais. Nesta linha, e para que a pessoa idosa não seja impedida de cumprir ações essenciais, é necessário oferecer condições e ferramentas que favoreçam a sua independência física e emocional, orientada para a ideia de um envelhecimento ativo. A arquitetura tem o papel de criar espaços que sejam acessíveis para todas as pessoas, independentemente de suas características pessoais, da idade, ou habilidades, enquadrando-se nos sete princípios do desenho universal e atendendo os parâmetros da NBR 9050. Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar a influência da arquitetura no envelhecimento ativo. Baseando-se em uma metodologia de pesquisa e caracterização dos processos descritivos, fundamentada em dados secundários e qualitativos. Os resultados da pesquisa evidenciam que, há relação direta entre o espaço arquitetônico e o bem-estar do ser humano, fator chave no processo de envelhecimento ativo da pessoa.*

***Palavras chave:*** *envelhecimento ativo, arquitetura, acessibilidade, idosos.*

## 1. INTRODUÇÃO

Conforme o Relatório Mundial de Saúde e Envelhecimento de 2015, o número de pessoas com mais de 60 anos no Brasil deverá crescer muito mais rápido do que a média internacional. Enquanto a quantidade de idosos vai duplicar no mundo até o ano de 2050, no Brasil triplicará. A porcentagem atual de idosos é de 12,5% e deve alcançar os 30% até 2050. Ou seja, logo o país será considerado uma "nação envelhecida", de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) essa classificação é dada aos países com mais de 14% da população constituída de idosos, como são atualmente: França, Inglaterra e Canadá, por exemplo (Knoploch, 2015).

De acordo com a Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, a população de idosos do Rio Grande do Sul irá mais do que duplicar no período de quatro décadas. Até 2060 a proporção de pessoas com idade acima dos 65 anos saltará dos atuais 12,7% para 29%, em um processo de envelhecimento provocado por fatores como: a baixa fecundidade, migrações de jovens para outros Estados e expectativa de vida acima da média nacional (SEPLAG RS, 2019).

O Estatuto do Idoso (Lei Federal nº 10.741, de 1º de outubro de 2003) considera idosa a pessoa que tem 60 anos ou mais e estabelece que, o mesmo dispõe dos direitos fundamentais inerentes à pessoa humana, para preservação de sua saúde física e mental e seu aperfeiçoamento moral, intelectual, espiritual e social, em condições de liberdade e dignidade. E é obrigação da família, da comunidade, da sociedade e do poder público assegurar a efetivação do direito à vida, à saúde, à alimentação, à educação, à cultura, ao esporte, ao lazer, ao trabalho, à cidadania, à liberdade, à dignidade, ao respeito e à convivência familiar e comunitária (Brasil, 2019).

O envelhecimento representa uma conquista da sociedade e, simultaneamente, um desafio pois envolve mudanças biológicas, psicológicas e sociais. Nesta linha, e para que a pessoa idosa não seja impedida de cumprir ações essenciais, devemos criar condições e ferramentas que favoreçam a sua independência física e emocional, orientada para a ideia de um envelhecimento ativo, no qual, as limitações naturais e funcionais não resultem na redução significativa da qualidade de vida (Carvalho et al., 2015). Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo analisar a influência na arquitetura no envelhecimento ativo.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia do artigo é de caráter descritivo, baseada na análise de dados secundários e segue etapas especificadas de pesquisa e desenvolvimento, conforme Figura 1.

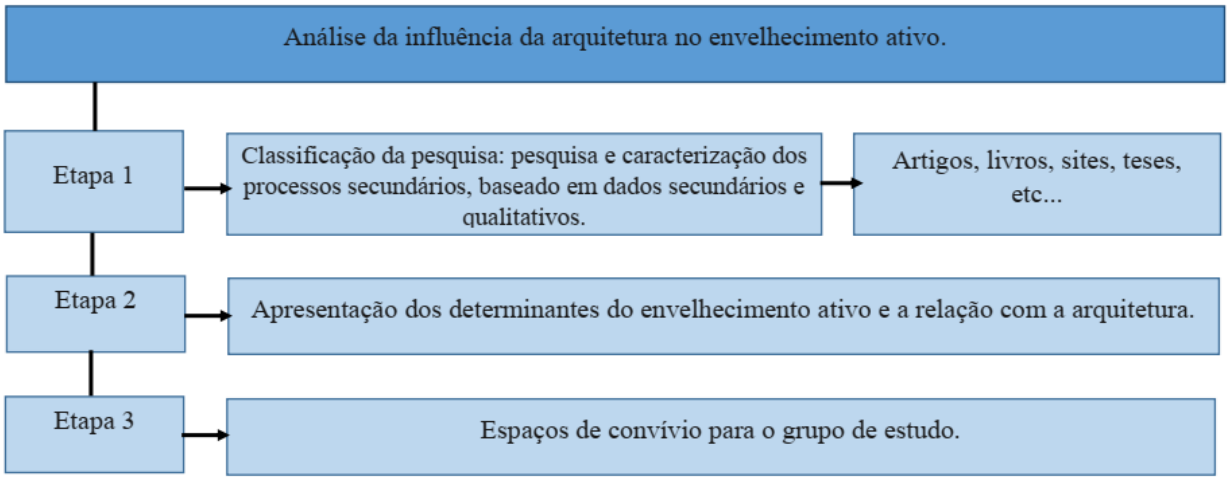



Figura 1. Desenho metodológico da pesquisa
Fonte: Autores, 2019

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A capacidade funcional (Figura 2) aumenta durante a infância e atinge seu máximo nos primeiros anos da vida adulta, entrando em declínio em seguida. A velocidade do declínio, no entanto, é fortemente determinada por fatores relacionados ao estilo de vida na vida adulta assim como por fatores externos e ambientais. Contudo, a aceleração no declínio pode sofrer influências e ser reversível em qualquer idade através de medidas individuais e públicas (OMS, 2005).

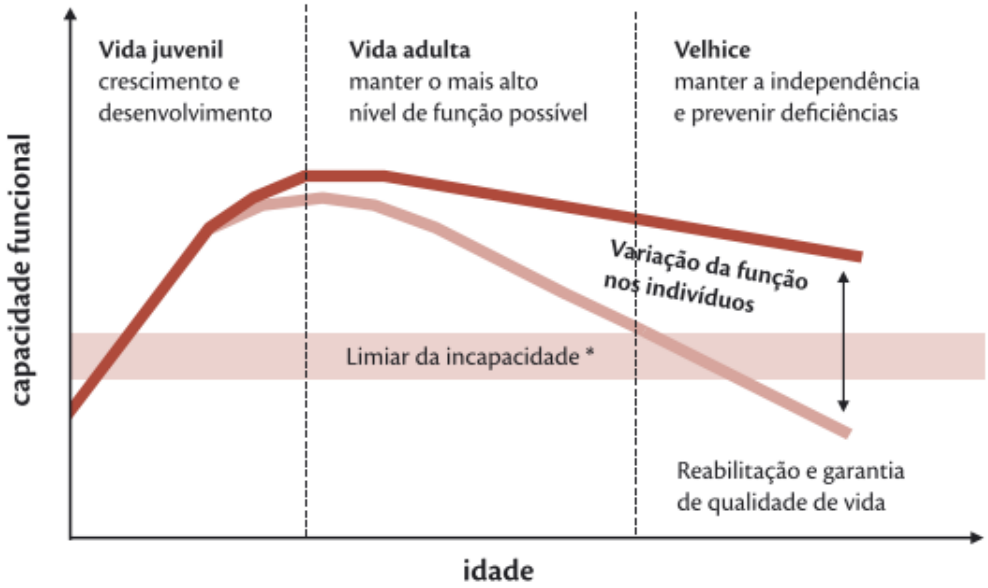



Figura 2. Manutenção da capacidade funcional durante o curso da vida
Fonte: OMS, 2005

Segundo a Sociedade Brasileira de Geriatria e Gerontologia, uma experiência positiva em relação ao envelhecimento, depende de uma vida acompanhada de oportunidades contínuas de saúde, participação e segurança. A Organização Mundial da Saúde adotou o termo “envelhecimento ativo” para expressar o processo de conquista dessa visão (SBGG, 2019).

O envelhecimento ativo é o processo de otimização das oportunidades de saúde, participação e segurança, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida à medida que as pessoas ficam mais velhas. Aplicando-se tanto a indivíduos quanto a grupos populacionais (Pedroso, 2015).

O termo “envelhecimento ativo” foi adotado pela Organização Mundial da Saúde no final dos anos 90. E, procura transmitir uma mensagem mais abrangente do que “envelhecimento saudável", e reconhecer, além dos cuidados com a saúde, outros fatores que afetam o modo como os indivíduos e as populações envelhecem (SBGG, 2019). Assim, o envelhecimento ativo depende de uma diversidade de fatores “determinantes” que envolvem indivíduos, famílias e países. A compreensão desses fatores irá auxiliar para a plena qualidade de vida dos idosos (OMS, 2005).

### 3.1 Determinantes do envelhecimento ativo

Os valores culturais e as tradições determinam muito como uma sociedade encara as pessoas idosas e o processo de envelhecimento. O gênero é uma “lente” através da qual considera-se a adequação de várias opções políticas e o efeito destas sobre o bem-estar de homens e mulheres. As políticas e programas precisam respeitar culturas e tradições e, ao mesmo tempo, desmistificar estereótipos ultrapassados e informações errôneas. Além disso, há valores universais essenciais que transcendem a cultura, tais como a ética e os direitos humanos (OMS, 2005).

De acordo com a OMS (2005), os fatores determinantes para o envelhecimento ativo (Figura 3) são:

1. **Fatores determinantes relacionados aos sistemas de saúde e serviço social:** Os serviços sociais e de saúde precisam ser integrados, coordenados e eficazes. A promoção da saúde permite às pessoas controlar e melhorar sua saúde. E a prevenção de doenças abrange o cuidado e o tratamento de enfermidades comuns em idosos - doenças não transmissíveis e lesões.
2. **Fatores comportamentais determinantes:** A adoção de estilos de vida saudáveis e a participação ativa no cuidado da própria saúde.
3. **Fatores determinantes relacionados a aspectos pessoais:** A biologia e a genética têm uma grande influência sobre o processo de envelhecimento. A trajetória de saúde e doença de um indivíduo por toda a vida é o resultado de uma combinação genética, ambiental, de estilo de vida, nutrição, etc.
4. **Fatores determinantes relacionados ao ambiente físico:** Ambientes físicos adequados à idade podem representar a diferença entre a independência e a dependência para todos os indivíduos, principalmente para idosos.
5. **Fatores determinantes relacionados ao ambiente social**: Apoio social, oportunidades de educação e aprendizagem permanente, paz, e proteção contra a violência e maus-tratos são fatores essenciais do ambiente social que estimulam a saúde, participação e segurança, à medida que as pessoas envelhecem.
6. **Fatores econômicos determinantes**: a renda, o trabalho, e a proteção social.




Figura 3. Determinantes do envelhecimento ativo
Fonte: OMS, 2005.

### 3.2 A arquitetura e sua contribuição para o envelhecimento ativo

É possível estabelecer três necessidades espaciais do idoso: as necessidades físicas, relacionadas aos aspectos físicos do indivíduo e do meio, contemplando sua saúde física, segurança e conforto; as necessidades informativas, que dizem respeito à maneira como o idoso processa as informações do ambiente, estando diretamente ligadas à sua percepção e cognição; e as necessidades sociais, que contemplam a demanda da pessoa idosa tanto por sua privacidade quanto por seu convívio social (Pedroso *apud* Hunt, 1991).

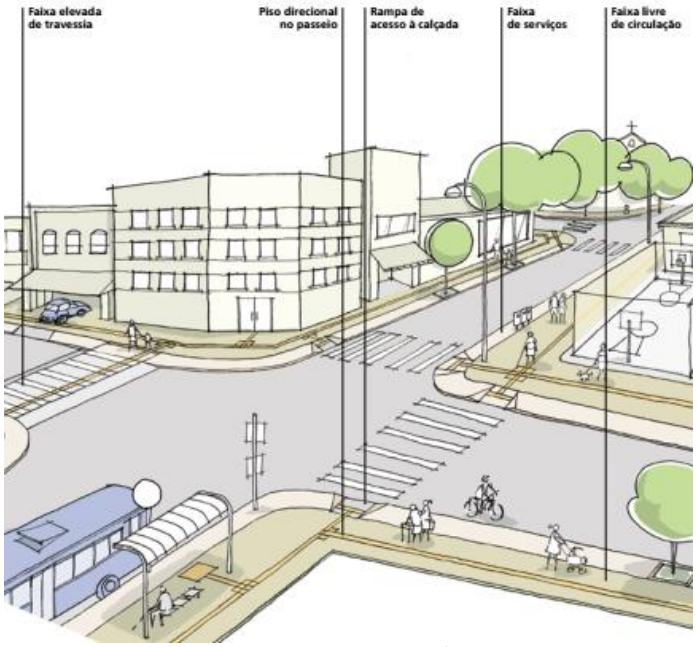
Ao relacionar a pessoa – neste caso, a idosa – e o ambiente, essas necessidades acabam considerando dois importantes conceitos: a afetividade e a acessibilidade. A afetividade pode ser compreendida como o vínculo

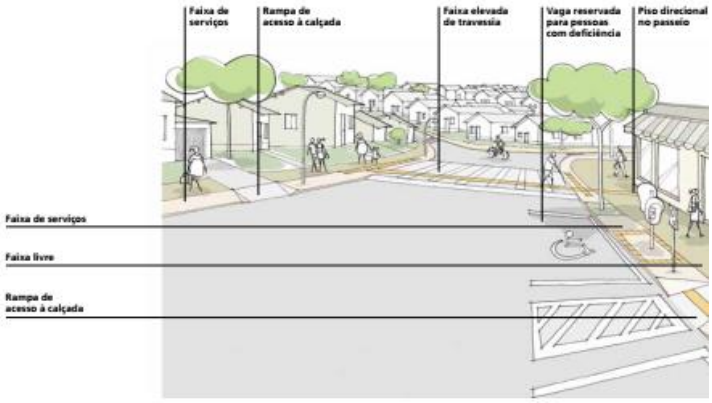
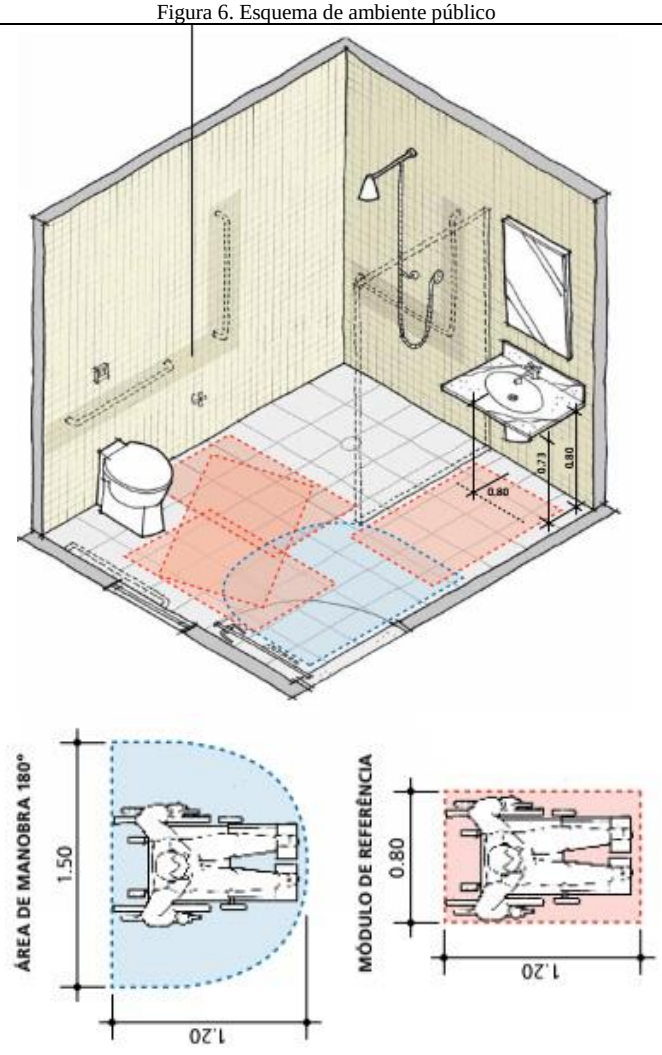
estabelecido entre o indivíduo e o lugar baseado na identidade, nas relações sociais e na história desse ser (Pedroso *apud* Tuan, 2013).

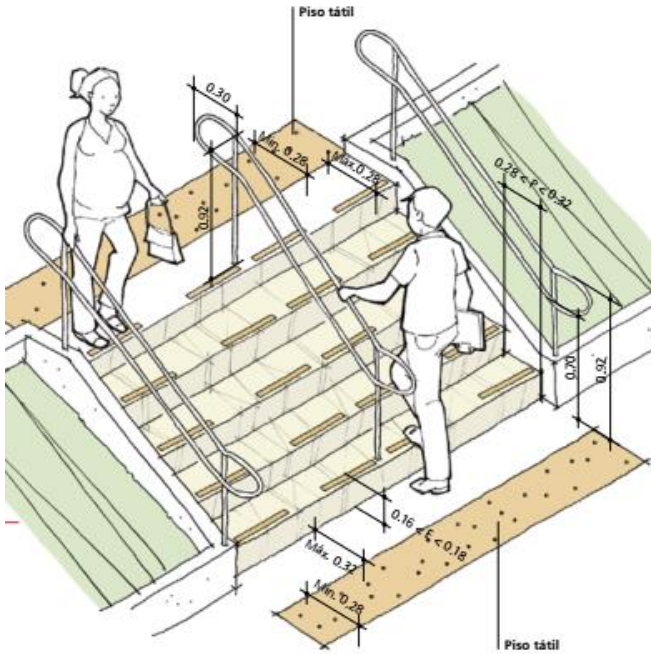
A arquitetura tem o papel de criar espaços que sejam acessíveis para todas as pessoas, independentemente de suas características pessoais, idade, ou habilidades, enquadrando-se nos sete princípios do Desenho Universal (DU). Segundo Carletto et al. (2019), os princípios do D.U. estabelecem: uso igualitário; uso flexível; uso simples e intuitivo; informação de fácil percepção; uso seguro (tolerante ao erro); uso com baixo esforço físico e uso abrangente.

Como parâmetro para atendimento da acessibilidade, o Brasil dispõe da NBR 9050, pertencente a Associação Brasileira de Normas Técnicas, onde estabelece medidas a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação de edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos. Então, pode-se relacionar um ambiente como forma essencial para a melhoria da qualidade de vida e do bem-estar dos idosos, e deve-se garantir aos mesmos o poder de desfrutar dos ambientes sem receber tratamento discriminatório por causa de suas características pessoais (Carvalho, 2018).

O Quadro 2, a seguir, apresenta uma análise crítica dos determinantes de envelhecimento e suas relações com o espaço construído (urbano e/ou arquitetônico).

| Determinantes | Esquemas | Referências |
|---|---|---|
| Serviços Sociais e Saúde |  Figura 4. Esquema de acesso a edificações | De acordo com os princípios do Desenho Universal, propor espaços de saúde que possam ser utilizados por usuários com capacidades e necessidades diferentes, oferecendo privacidade, segurança e proteção para todos os usuários. Atendo a NBR 9050, por meio de um acesso seguro através de rampas com corrimãos e guarda-corpo. |
| Determinantes Comportamentais |   Figura 5. Esquema de via pública | Os projetos para as áreas de uso público, conforme os princípios do Desenho Universal devem prever a criação de espaços urbanos e de lazer adequados às necessidades de todos os usuários, contemplando aspectos como segurança, conforto, direito de acesso, deslocamento e usufruto dos espaços. Equipamentos faixa elevada de travessia, rampa de acesso à calçada, etc., permitem, por exemplo, que os idosos possam praticar atividades físicas sem possibilidades de acidentes ou lesões. |

| | | |
|---|---|---|
| Determinantes Pessoais |  Figura 6. Esquema de ambiente público | Propor espaços acessíveis, que permitam o convívio social e o contato com a natureza podem contribuir redução do surgimento de doenças. De acordo com a OMS (2005), os genes podem estar envolvidos na etiologia de doenças; entretanto a causa de muitas é mais ambiental e externa do que genética e interna. |
| Ambiente Físico |  Figura 7. Esquema de um sanitário | Os sanitários devem ter dimensões e forma que permitam a disposição e o uso adequado de vaso sanitário, chuveiro, lavatório, bem como espaço de armazenagem para produtos, de modo a possibilitar que o usuário de cadeira de rodas ou o idoso consiga realizar sua higiene pessoal. De acordo com a NBR 9050 (2015), as barras de apoio são necessárias para garantir o uso com segurança e autonomia das pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. |

| | | |
|---|---|---|
| Determinantes Sociais |  Figura 8. Esquema de escada | Ao projetar espaços assistenciais de atendimento ao idoso, deve-se considerar a segurança na concepção de ambientes e a escolha dos materiais - como corrimãos, pisos, entre outros - visando minimizar os riscos de acidentes. Escadas com corrimão duplo, prolongado 30 cm no início e término, piso tátil de alerta e faixa contrastante evitam acidentes (NBR 9050, 2015). |
| Determinantes Econômicos |  Figura 9. Esquema de sinalização | Utilizar diferentes meios de comunicação, como símbolos, informações sonoras, táteis, entre outras, para compreensão de usuários com dificuldade de audição, visão, cognição ou estrangeiros; Maximizar com clareza as informações essenciais; Tornar fácil o uso do espaço ou equipamento. |

Quadro 2. Análise da influência da arquitetura no envelhecimento ativo
Fonte: Elaborado pelos Autores (2019) com base em São Paulo (2014).

### 3.3 Modalidades assistenciais de atendimento aos idosos

Segundo Almeida et al. (2016), a ingressão do idoso em atividades especiais, influencia muito na sua saúde física e mental, ajuda na socialização e consequentemente a inserção desse idoso na sociedade. No Brasil, existem algumas modalidades assistenciais de atendimento aos idosos como: Centros de Convivência, Centros Dia, entre outros, que buscam trazer melhorias e qualidade de vida aos idosos, previstos na Política Nacional do Idoso (Lei nº 8.842, de 4 de janeiro de 1994; BRASIL, 2019).

Segundo o Guia de Orientações Técnicas, pertence ao Programa São Paulo Amigo do Idoso, o Centro de Convivência caracteriza-se como um espaço destinado ao desenvolvimento de atividades socioculturais e educativas, dando oportunidade à participação do idoso na vida comunitária, prevenindo situações de risco pessoal e contribuindo para o envelhecimento ativo. Tendo como público-alvo idosos de ambos os sexos, com idade igual ou superior a 60 anos, em situação de vulnerabilidade social (São Paulo, 2019).

O Centro de Convivência (Figura 10 e 11) deverá disponibilizar até 200 vagas, funcionar das 8h às 17h, com intervalo entre o período da manhã e da tarde. E, desenvolver atividades como confraternizações, festas temáticas, jogos, biblioteca, passeios, palestras, oficinas, entre outras (São Paulo, 2019).




Figura 10. Fachada do Centro de Convivência de Idosos Ipiguá /SP
Fonte: São Paulo, 2019



Figura 11. Área interna do Centro de Convivência de Idosos Ipiguá /SP
Fonte: São Paulo, 2019

Ainda de acordo com o Guia de Orientações Técnicas, pertence ao Programa São Paulo Amigo do Idoso, o Centro Dia (Figuras 12, 13 e 14) caracteriza-se como um espaço destinado a proporcionar acolhimento, proteção e convivência a idosos semidependentes, cujas famílias não tenham condições de prover estes cuidados durante todo o dia ou parte dele. Com público-alvo: idosos, de ambos os sexos, com idade igual ou superior a 60 anos, em situação de vulnerabilidade ou risco social, e cuja condição requeira o auxílio de pessoas ou de equipamentos especiais para a realização de atividades da vida diária, tais como: alimentação, mobilidade, higiene; sem comprometimento cognitivo ou com alteração cognitiva controlada (São Paulo, 2019).

O serviço deve ofertar vagas para até 50 idosos, funciona das 8h30 às 17h30, de segunda a sexta-feira (exceto feriados). Desenvolve atividades como confraternizações, festas temáticas, jogos, biblioteca, passeios, palestras, oficinas, etc (São Paulo, 2019).




Figura 12. Fachada do Centro dia em Itapeva /SP
Fonte: G1, 2012



Figura 13. Área interna do Centro dia em Itapeva /SP
Fonte: G1, 2012



Figura 13. Cuidados do Centro dia em Itapeva /SP
Fonte: G1, 2012

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, a número da população idosa no país irá crescer. E, diante de tal realidade surgem legislações e órgãos públicos para amparar o melhor desenvolvimento deste grupo de pessoas (idosos). Além disso, a arquitetura deverá atender a demandas especificas deste grupo, seja no espaço urbano quanto no espaço interno das edificações. E, nesse sentido, entender os determinantes do envelhecimento ativa é fator primordial para realizar projetos eficientes para o usuário final.

Atualmente, existem alguns exemplos de espaços adaptados à realidade da população idosa (acessível). No entanto, ainda há muito por se fazer visto que, o Brasil será um país de idosos e a arquitetura deverá considerar cada dia mais essa diretriz projetual para assegurar a qualidade de vida e o bem-estar da pessoa, consumidor final do projeto arquitetônico.

## 5. REFERÊNCIAS

ALMEIRA, Y. S.; PEDROSO, E. S. R.; CURY, M. D. A (2016). *Qualidade de vida na terceira idade: a influência da arquitetura na melhoria das condições de vida dos idosos*. In Congresso Internacional do Envelhecimento Humano, 2016.

BRASIL. *LEI No 10.741, DE 1º DE OUTUBRO DE 2003*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.741.htm>. Acesso em 29 de Agosto de 2019.

BRASIL. *LEI Nº 8.842, DE 4 DE JANEIRO DE 1994*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/Leis/L8842.htm>. Acesso em 29 de Agosto de 2019.

CARLETTO, A. C.; CAMBIAGHI, S. *DESENHO UNIVERSAL UM CONCEITO PARA TODOS*. Disponível em: <https://www.maragabrilli.com.br/wp-content/uploads/2016/01/universal_web-1.pdf>. Acesso em 01 de Setembro de 2019.

CARVALHO, J. A. *PARÂMETROS PARA INCLUSÃO SOCIAL E AUTONOMIA DE IDOSOS EM CENTROS DE CONVIVÊNCIA E HABITAÇÃO*. In Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente Construído. São Paulo, 2018.

CARVALHO, D.; PAIVA, B. *Design e envelhecimento humano Conceitos aplicados à pessoa idosa*. In EXEDRA: Revista Científica ISSN-e 1646-9526, p. 174-185, 2015.

G1. *Centro 'Dia do Idoso' é inaugurado em Itapeva, SP*. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/itapetininga-regiao/noticia/2012/12/centro-dia-do-idoso-e-inaugurado-em-itapeva-sp.html>. Acesso em 02/09/2019.

KNOPLOCH, C. *Idosos serão um quinto do planeta em 2050, diz OMS*. Reportagem do site O Globo. Disponível em: https://oglobo.globo.com/sociedade/saude/idosos-serao-um-quinto-do-planeta-em-2050-diz-oms-17649843. Acesso em 30 de Agosto de 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Envelhecimento ativo: uma política de saúde / World Health Organization*; tradução Suzana Gontijo. – Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2005.

PEDROSO, E. S. R., SANTANA, E. P. *APROPRIAÇÃO E ACESSIBILIDADE EM UMA INSTITUIÇÃO DE LONGA PERMANÊNCIA PARA IDOSOS*. In XV Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia: Produtos, Programas, Informações, Ambiente Construído E XV Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade, Design de Interfaces e Interação Humano-Computador, 2015.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GERIATRIA E GERONTOLOGIA (SBGG). *Envelhecimento ativo*. Disponível em: <https://sbgg.org.br/espaco-cuidador/envelhecimento-ativo/>. Acesso em 31/08/2019.

SÃO PAULO. *Ipiguá ganha Centro de Convivência do Idoso*. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/ipigua-ganha-centro-de-convivencia-do-idoso-1/>. Acesso em: 02/09/2019.

SÃO PAULO (ESTADO). *Guia de Orientações Técnicas Centro de Convivência do Idoso* - Centro Conviver / Secretaria de Desenvolvimento Social. - São Paulo: Secretaria de Desenvolvimento Social, 2014.

SÃO PAULO (ESTADO). *Guia de Orientações Técnicas Centro Dia do Idoso* - ‘’Centro Novo Dia’’ / Secretaria de Desenvolvimento Social. – São Paulo: Secretaria de Desenvolvimento Social, 2014.

SÃO PAULO (ESTADO). *DIRETRIZES DO DESENHO UNIVERSAL NA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO ESTADO DE SÃO PAULO*. Secretaria de Estado da Habitação e a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano, São Paulo, 2010.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTAO DO RIO GRANDE DO SUL (SEPLAG RS). *Cenário Demográfico*. Porto Alegre - Departamento de Economia e Estatística, 2019.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Arquitetura:

# Qualidade do Projeto

REALIZAÇÃO:

URI

ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DE TERMINAL RODOVIÁRIO MUNICIPAL: BARREIRAS TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS

**Ana Paula Zulian**
**Daniela Rosin**
**Natalia Nakadomari Bula**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI, Campus II - Erechim / Brasil
anazulian@live.com
danirosin8@gmail.com
nataliabula@uricer.edu.br

**Resumo.** *O Artigo se trata de uma Avaliação Pós-ocupação, desenvolvida pelo método de observação incorporada, um mapa comportamental e revisão bibliográfica com base em artigos, que contribuem para a relevância deste material. Como proposta maior de elencar os aspectos positivos e negativos analisados no Terminal Rodoviário Municipal, tendo em vista a vivência e ocupação do lugar pelos usuários, neste artigo se buscou abordar de maneira simples mas objetiva através de um estudo, as principais barreiras que o ambiente impõe aos usuários, tanto para os passageiros como funcionários e a partir disto indicar soluções para que a edificação seja melhor aproveitada quanto ao seu potencial para fins diferentes como convivência, distrações, funcionalidade, fluxos, entre outros.*

**Palavras-chave: Rodoviária, Acessibilidade, Passageiros, Não lugares, Barreiras.**

## 1. INTRODUÇÃO

O espaço analisado se enquadra no conceito que Marc Augé denomina "não lugar", pois é um ambiente de passagem em que as pessoas não se sentem pertencentes daquele espaço. Por isso, a ideia é introduzir fazendo um embasamento teórico sobre os não lugares, citando artigos referenciais que falam sobre o assunto, seja ele com uma análise específica sobre espaços de passagem, mas, também sobre a definição do conceito de "não lugar".

De acordo com Sá (2014) os "não lugares'' permitem uma grande circulação de pessoas, coisas e imagens em um único espaço, mas em contrapartida não têm significado para seus usuários, que não vivenciam o espaço em si e vivem como espectadores de um lugar imperceptível aos olhos dos frequentadores.

Conforme Sá(2014), não temos tempo para estar, parar, estamos de passagem, em viagem, espaço onde a ação racional se impõe à vida de qualquer coisa. O desejo de fazer tudo em um período de tempo cada vez mais curto, de não perdermos nada do que se passa a nossa volta e no mundo, não permite a vida nos espaços físicos que ocupamos.

Pode-se dizer que o "não lugar'' pode ser classificado como um espaço de passagem, onde as pessoas o frequentam por ter a necessidade de estar ou "passar'' por ele, e/ou por alguma eventualidade cotidiana, mas as pessoas não se sentem pertencentes desse espaço a ponto de querer ocupá-lo de maneira concreta, mas sim, de forma passageira. Partindo disto analisamos que o ambiente rodoviário, pode ser classificado como sendo um "não lugar".

Por isso, a indagação feita referente ao espaço em análise é: Quais as barreiras tangíveis e intangíveis que o terminal impõe aos usuários? Como este espaço pode ser melhorado a ponto de ter algum significado e ser apropriado pelos usuários?

## 2. METODOLOGIA

O artigo em questão é fruto de uma atividade dentro da disciplina de APO, desta forma não há necessidade de apreciação do Comitê de Ética, conforme citação abaixo:

> [...] "Entende-se que APOs Oriundas de disciplinas de graduação e pós- graduação que tem duração, em geral, de quatro meses ou menos e que não possuem um projeto de pesquisa não necessitam, consequentemente, de submissão e aprovação da atividade na Plataforma Brasil. Entretanto,

> recomenda-se que essa modalidade de trabalho não envolva pessoas com deficiência ou incapazes (ABATE, et al.,2018)".

A Avaliação Pós-ocupação do terminal de passageiros da Rodoviária Municipal de Erechim foi desenvolvida com o método de observação incorporada e através de um mapa comportamental onde foi elencado todos os aspectos positivos e negativos analisados naquele espaço, tendo em vista, a vivência e ocupação do lugar pelos usuários.

A observação incorporada é um método de abordagem experiencial em que o pesquisador assume a posição como observador e analisa o espaço estudado de forma a elencar aspectos positivos e negativos do local.

Já o mapa comportamental, analisa o comportamento das pessoas em um ambiente, dentro de um certo período de tempo. Essa análise comportamental pode ser usada para entender e estudar o espaço desejado, identificando as atitudes das pessoas que frequentam aquele lugar, podendo descrever como o lugar influência na maneira de agir e usar aquele recinto. Essa forma de metodologia ajuda a compreender as relações dos usuários com o espaço ocupado.

Em média foram observadas 80 pessoas, a observação foi realizada em dois dias pois o fluxo de pessoas muda dependendo do dia da semana e do horário, as análises foram feitas uma durante a semana no horário das 11:00 horas às 12:30 e a outra no final de semana no horário das 13:00 horas às 14:00 horas.

A partir dos resultados obtidos, a discussão foi dividida nos itens de maior impacto na percepção da qualidade do espaço. Por se tratar de um lugar que todos devem ter acesso, onde atinge todos os tipos de público, a edificação deve ser mais aproveitada quanto ao seu potencial para fins diferentes, como convivência, distrações, funcionalidade, fluxos, entre outros.

## 3. DESENVOLVIMENTO

O ambiente rodoviário, por se tratar de um espaço de passagem, muitas vezes não é dado a devida importância para os serviços prestados. As pessoas estão na maioria das vezes distraídas e apressadas com a rotina do dia-dia, que não são capazes de perceber o que o local está proporcionando; em relação as condições adequadas de uso, acessibilidade, conforto, entre outras. De acordo com Galvão et al.(2014):

> [...] os terminais rodoviários precisam prestar serviços de qualidade de forma a satisfazer às necessidades de seus passageiros (GALVÃO et al.,2014, p. 6).

A análise do ambiente em estudo se deu principalmente a partir destas categorias definidas por Galvão et al. (2014), descritas a seguir.

### 3.1 Acessos

Foi possível verificar através da análise presencial do espaço, que há choque de fluxos no acesso principal da rodoviária, pois o acesso dos veículos é o mesmo que o da maioria das pessoas. O espaço correto para o acesso dos pedestres, fica em um local não muito bem localizado e sinalizado, sem proteção para dias chuvosos.

Além disso, a entrada dos ônibus e dos veículos menores é a mesma fazendo com que esse fluxo não flua adequadamente. Percebemos também, a falta de faixa de segurança para pedestres no complexo rodoviário, visto que por ser um local de grande fluxo de veículos é essencial. Outra questão é que esses acessos não são corretamente acessíveis para pessoas com algum tipo de deficiência, pois há falta de sinalização e as rampas são inadequadas. Conforme a ABNT NBR 9050(2015):

> [...]Nas edifcações e equipamentos urbanos, todas as entradas, bem como as rotas de interligação às funções do edifício, devem ser acessíveis. O percurso entre o estacionamento de veículos e os acessos deve compor uma rota acessível. Quando da impraticabilidade de se executar rota acessível entre o estacionamento e acessos, devem ser previstas, em outro local, vagas de estacionamento para pessoas com defciência e para pessoas idosas, a uma distância máxima de 50 m até um acesso acessível. (ABNT NBR 9050, 2015, p. 54).

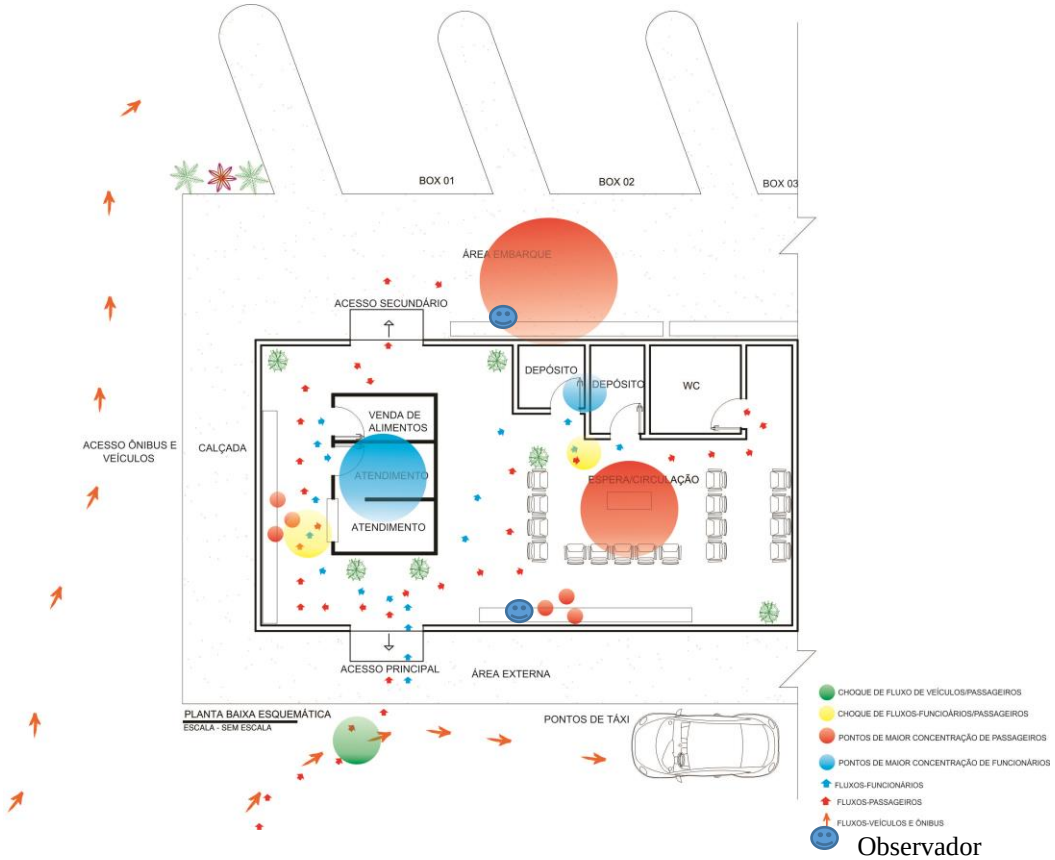



Figura 01. Planta esquemática de fluxos-Rodoviária Municipal de Erechim
Fonte: Autores, (2019).

### 3.2 Parte funcional/mobiliário

A partir do acesso principal, as pessoas se direcionam para uma parte central em que fica localizado o setor de vendas de passagens, nesse setor se analisou que não há uma delimitação de espaço para as filas formadas, as pessoas acabam interferindo no fluxo do ambiente.

Além disso, se observou que o local não se torna agradável para o aguardo do embarque, pois não há um lugar adequado para fazer um lanche, não possui armários para guardar as suas bagagens e pertences, fazendo com que as pessoas se sintam inseguras em relaxar nesse espaço.

O espaço não proporciona atrativos que poderiam ser implantados nos diversos locais ociosos que há na rodoviária hoje em dia, não agrada nenhuma faixa etária, pois não há locais de lazer para as crianças, para os jovens e muito menos para os idosos, visto que, há bancos desconfortáveis, para portadores de necessidades especiais, não há pisos táteis, barras de apoio ou sinalização. Por mais que o espaço seja de "passagem", ele precisa proporcionar aos usuários um conforto adequado, possuindo espaços acessíveis, que todos consigam desfrutar de maneira correta. Segundo Santos et al.(2016):

> [...] é perceptível o grande fluxo de pessoas que utilizam tal modal como suporte para o acesso à cidade; com isso, é eficaz a inserção de acessibilidade arquitetônica, como calçadas adaptáveis, sinalização sonora, rampas de acesso, estacionamentos privativos, sistema braile — considerados como fatores preponderantes para a autonomia dos indivíduos portadores de necessidades especiais. (SANTOS et al.,2016, p. 3).

Partindo da análise dos espaços e mobiliários na rodoviária, identificou-se que os banheiros, são espaços essenciais em um local de passagem de pessoas, eles devem suprir as necessidades para todos os usuários, tendo em vista essa afirmação, percebemos que há falta de banheiros adequados para o público frequentador, pois, o acesso é mal sinalizado, havia falta de material para higiene pessoal, não tem um espaço adequado para o público infantil, como por exemplo um fraldário, e nem a presença de vestiários, como visto na ABNT NBR 9050(2015):

Todos os sanitários devem ser sinalizados com o símbolo representativo de sanitário, de acordo com cada situação conforme figura 02. Segundo ABNT NBR 9050(2015):

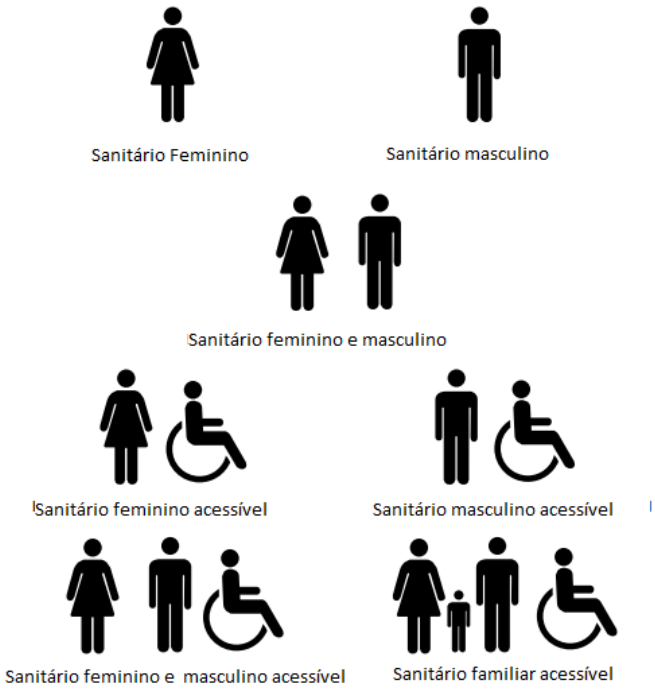



Figura 02. Símbolo internacional de sanitários acessíveis.
Fonte: ABNT NBR 9050(2015)

**Áreas de transferência**

Para instalação de bacias sanitárias devem ser previstas áreas de transferêcia lateral, perpendicular e diagonal, conforme figura 03. Segundo ABNT NBR 9050(2015):

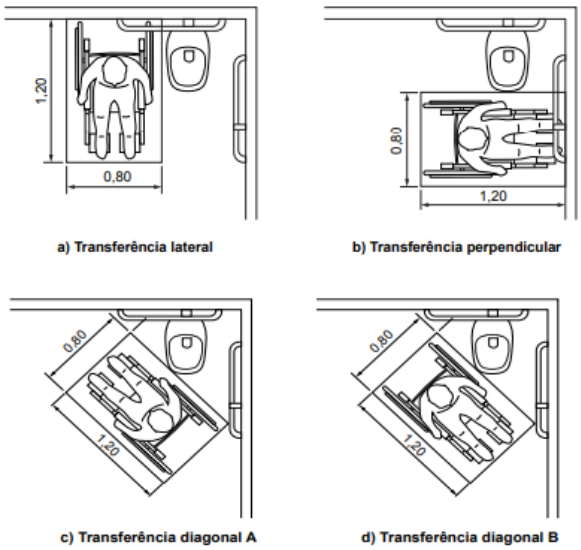



Figura 03.Área de transferência para bacia sanitária.
Fonte: ABNT NBR 9050(2015)

> [...] faz-se necessária a adaptação do ambiente para que os portadores de determinada deficiência possam usufruir das mesmas condições que os não portadores, diminuindo barreiras sociais e promovendo a inserção desses indivíduos nos diversos espaços. (Santos et.al, 2016, p 5)

Em relação aos funcionários, o espaço não proporciona um ambiente adequado para o atendimento, não tendo um local de apoio para descanso e refeições, as cabines não possuem nenhuma segurança e nem privacidade, por se tratar de um local que envolva questões financeiras. Também há um grande problema de choque de fluxos dos funcionários com os dos passageiros, pois, os acessos são os mesmos para ambos, não há uma setorização.

Há espaços destinados ao setor de serviços que estão localizados em um ponto não estratégico, no ponto de vista de melhor aproveitamento e organização dos espaços como, por exemplo, a sala de limpeza, uma vez que, ela está distante da ala de serviços, em virtude disto, percebemos que esses recintos não foram implantados de uma forma correta na rodoviária.

### 3.3 Conforto ambiental

Analisando o contexto de conforto ambiental, o edifício não possui pontos positivos, pois, as janelas existentes no local são altas impossibilitando o acesso para abri-las, ocasionando uma falta de ventilação no ambiente, com isso acaba ocasionando uma sensação de abafamento. Também há a falta de iluminação natural no ambiente. O correto seria a existência de aberturas que fossem projetadas para garantir um conforto térmico e lumínico adequado para o tipo de ambiente e o seu tamanho, em como, que propiciem uma fácil manutenção. Conforme a ABNT NBR 15575-1(2013):

> [...]os requisitos de iluminância natural podem ser atendidos mediante adequada disposição dos cômodos (arquitetura), correta orientação geográfica da edificação, dimensionamento e posição das aberturas, tipos de janelas e de envidraçamentos, rugosidade e cores dos elementos (paredes, tetos, pisos etc.), inserção de poços de ventilação / iluminação, eventual etc. (ABNT NBR 15575-1,2013, p.26)

Ainda sob o campo ambiental, verificamos que não existe separação de lixo, o espaço fornece lixeiras, mas elas são inadequadas. Entretanto, um ponto positivo analisado nesse local é a limpeza, uma vez que, não há lixo jogado no chão tanto na parte interna como externa. Nesse quesito pode-se dizer que há uma boa organização nesse setor.

### 3.4 Segurança

Pensando quanto à Segurança da Rodoviária Intermunicipal, pode-se observar que não há muitos pontos positivos relevantes, pois não possui muitas câmeras de segurança no local tanto na área interna quanto na área externa e nos arredores da rodoviária. As cabines de venda de passagens são inseguras e de fácil acesso a qualquer pessoa, ficando a mercê de usuários mal-intencionados, sem contar que os funcionários não possuem uma sala de apoio para guardar seus pertences de forma segura.

A área externa além de não ter um apoio de câmeras de segurança possui pouca iluminação causando desconforto para os passageiros que ali esperam. Por se tratar de um lugar que existem horários de mais e menos movimento conforme as chegadas e saídas dos ônibus este deve oferecer as condições adequadas para que os passageiros se sintam bem e seguros inclusive com suas malas e pertences pois hoje não há um local adequado para isso.

Segue gráfico analítico do nível de deficiência/barreiras encontradas no ambiente.




Figura 04. Análise do nível de deficiência/barreiras.
Fonte: Autores, (2019).

## 4. CONCLUSÃO

Em síntese, analisou-se que o ambiente rodoviário municipal traz diversas deficiências e barreiras para os usuários. Essas barreiras impostas ao público, muitas vezes passam despercebidas devido à falta de conhecimento técnico sob o ponto de vista de projeto do espaço, ou pela falta de percepção do que está ocorrendo ao seu redor, devido à correria cotidiana.

Mas como frequentadores e projetistas de espaços públicos devemos ter uma sensibilidade maior no quesito de percepção e análise desses ambientes, pois, eles suprem nossas necessidades seja de transporte, lazer, entre outros.

Pelo que foi visto na rodoviária, presenciou-se diversos pontos negativos que foram elencados neste presente artigo. Pode-se definir que muitas dessas deficiências poderiam ser sanadas com uma reforma dos espaços existentes, setorizando-se de maneira adequada, ou até mesmo uma simples reorganização desses recintos, separando os fluxos de funcionários dos de passageiros. Além disso, a implantação de espaços de lazer e alimentação adequados que propiciem distrações. Outra questão é a aplicação correta dos sanitários, usando-se de sinalização adequada e acessibilidade do espaço.

Destaca-se também, a modificação dos acessos externos pois, há choques de fluxos de veículos com pedestres o que acarreta na falta de proteção para com os usuários. Esses problemas poderiam ser solucionados com uma maior sinalização e separação dessas entradas. Partindo disto, devemos ser mais observadores dos espaços de uma forma geral para que possamos analisar, criticar, contemplar e exigir espaços dignos para garantir uma boa vivência e apropriação.

Quanto aos elementos intangíveis, esses não podem ser garantidos por mudanças físicas no espaço, mas entende-se que ao realizar melhorias na estrutura física seja essencial para que haja apropriação do ambiente, e ele deixe de ser um "não lugar" para se tornar um espaço de convivência com significado no imaginário da população.

## 5. REFERÊNCIAS

Abate, T. P.;Ono, R.; Ornstein, S. W. 2018. *Ética em pesquisa de APO.* In: Ono, R.; Ornstein, S. W.; Vill, França, S. B.; A. J. G. L (org.). Avaliação pós ocupação na arquitetura, no urbanismo e no design: da teoria à prática. Oficina de textos, São Paulo. Pp. 65-80

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. *NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais.* Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015. *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.* Rio de Janeiro.

Galvão, A.; Cruz, F.; Faucão, J. 2014. Satisfação dos Clientes Quanto à Qualidade dos Serviços do Terminal Rodoviário de Natal (RN). *Revista USP*. 18 p. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rta/article/download/80711/84358/>. Acesso em: 21 abr. 2019.

Sá, T. 2014. Lugares e não lugares em Marc Augé. *Universidade de São Paulo*. 2014. 21 p. Disponível em: <http://www.journals.usp.br/ts/article/view/97978>. Acesso em: 22 abr. 2019.

Santos, A. S.; Cerqueira, E. D. S.; Santos, F. N.; Caló, F. S.; Oliveira, J. P.; Vieira, S. 2016. Análise das medidas de acessibilidade no Terminal Rodoviário de Porto Seguro – Bahia. *Universidade UNIGRANRIO*. 12 p. Disponível em: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/raoit/article/download/4118/2171>. Acesso em: 22 abr. 2019.

## 6. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESPAÇO DA PRAÇA JÚLIO DE CASTILHOS EM ERECHIM-RS

**Dienifer Secchi**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus II – Erechim / Brasil
dienifersecchi@gmail.com

**Sara Roesler**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus II – Erechim / Brasil
sararoesler@uricer.edu.br

**Darllan Fabiani da Silva Santos**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus II – Erechim / Brasil
darllanfabiani@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O presente trabalho tem o objetivo de avaliar um espaço público qualitativamente, considerando as percepções dos usuários, as percepções arquitetônicas e a relação frequentador/espaço. Ainda almeja demonstrar a importância da análise dos âmbitos que são ocupados pelas pessoas e as consequências geradas da interação do usuário com o ambiente imediato. Como amparo para o trabalho foi utilizada a avaliação pós-ocupação, que compreende a análise de determinado espaço, englobando a percepção arquitetônica e dos usuários, levando em conta marcas características no espaço físico. Na metodologia são utilizados como base três aspectos: a estética, o uso e a estrutura. Devido à importância histórico/cultural e a proximidade com atividades urbanas importantes, o espaço público estudado foi a praça municipal Júlio de Castilhos, localizada no centro da cidade de Erechim-RS. Foram realizados levantamento histórico, coleta de dados in loco e observações ao longo de um ano, a fim de registrar mudanças no contexto da praça. Foram constatados vários agravantes de sua decadência e negligência, problemas de mobiliário quebrado e subutilizado, brinquedos não atrativos, vegetação inapropriada que cria sombras e pontos obscuros, barreiras visuais que impedem visualizar o interior do espaço, inacessibilidade, ambientes ociosos, pavimentação deficiente, insuficiência de iluminação e ausência de frequentadores.*

***Palavras chave:*** *praça, pessoas, avaliação pós-ocupação.*

## 1. INTRODUÇÃO

A praça é considerada uma descendente da Ágora, na Grécia, afirmam Viero e Filho (2009), o local exercia função de troca de informações e manifestações de ideais políticos. No entorno existia o mercado, servindo como um tipo de balizador da Ágora, a qual era um lugar aberto e livre, por onde a população circulava.

No Brasil, como fala Gomes (2008), a praça com finalidade de ser espaço público, surgiu juntamente com as primeiras cidades, no local onde se estabelecia a Igreja, os poderes públicos e o comércio principal, seguidos de quadras com moradias de homens de destaque na sociedade. O autor ainda relata as atividades que ocorriam nas praças daquela época como sendo diversificadas, inclusive cívicas e militares.

Em nossa cultura a praça tem a função de espaço de encontro e troca, onde os moradores, visitantes e transeuntes reúnem-se, independente de sua classe social. É caracterizada geralmente por ser um ponto marcante no tecido urbano, fruto dos encontros das vias, ou ponto de partida das mesmas (ALEX 2011). Outros autores, como Viero e Filho (2009), relatam que a praça se tornou também um âmbito de propagação de espécies vegetais e jardins, advindos da necessidade de espaços verdes nas cidades, para melhorar a qualidade de fatores ambientais e inclusive psicológicos.

Ainda segundo Alex (2011), a praça tem fundamental importância para quem vive na cidade, pois é um espaço distinto do dia a dia, o qual proporciona nos finais de semana ou tempo livre possibilidades de atividades diferenciadas. O seu papel também é fazer com que as pessoas interajam de alguma maneira, observando quem está ao seu redor.

No Brasil enfrenta-se um problema de descaso com as praças por parte dos órgãos públicos, os quais não se detém a qualidade dos espaços, nem a sua estruturação e muito menos o que ela poderá oferecer (GOMES, 2008).

Diante da evolução histórica dos espaços públicos, da sua importância no contexto das cidades, combinado com a atual situação em que se encontram no Brasil, este artigo almeja contribuir com análises e constatações que fortaleçam a importância do ambiente das praças.

O espaço público escolhido para estudo foi a praça municipal Júlio de Castilhos, localizada no município de Erechim-RS. A praça está situada na área central da cidade, próximo ao comércio e ao meio de transporte público, o terminal de ônibus urbano. Também contribuiu para a escolha do local a sua importância histórica e a sua forte presença nas memórias da cidade.

## 2. HISTÓRICO

A praça Júlio de Castilhos surgiu simultaneamente com a estação ferroviária, embora não seja considerada a primeira praça oficialmente, foi a primeira a formar-se na cidade (FÜNFGELT, 2004). Esse surgimento ocorreu no ano de 1914, juntamente com as Avenidas José Bonifácio e Brasil, como mostra o álbum do município de Erechim de 1936, organizado por João Frainer.

Inicialmente o espaço teve a função de "mercadão", pois as mercadorias que chegavam à cidade pela linha férrea eram vendidas ali mesmo, tendo assim um formato espontâneo. Observando o traçado da cidade pode-se perceber a diferença da praça Júlio de Castilhos, ela não interfere no desenho, mas também não o segue. Isto porque o novo traçado foi sobreposto à linha férrea e seu entorno imediato, como mostra a Fig. 1.

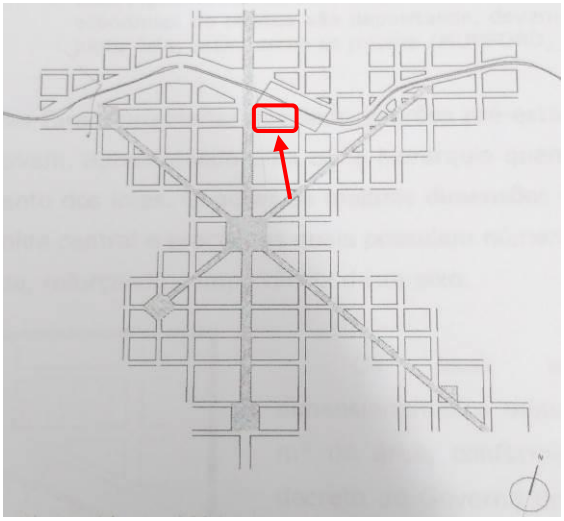


Figura 1. Parte do traçado urbano da cidade de Erechim, praça Júlio de Castilhos indicada pela seta. Fonte: Arquivo Histórico Municipal Juarez Miguel Illa Font.

Por causa da grande circulação de pessoas e numerosas atividades desenvolvidas naquele lugar, na década de 20 foi construído um estabelecimento que era incumbido de diversas funções, o "bar do Quiosque" (Fig. 2). Eram realizados "saraus", "matinés", jogos, refeições e outras atividade de lazer e diversão.

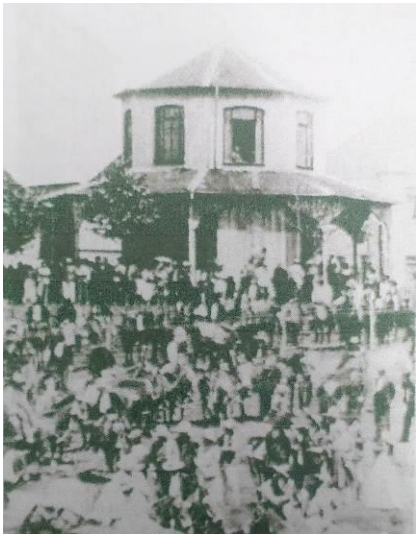


Figura 2. Bar do Quiosque na década de 20. Fonte: Arquivo Histórico Municipal Juarez Miguel Illa Font.

Nas décadas de 30 e 40, um pouco modificada, a praça passou a ser também um lugar de encontros e passeios diurnos, crianças começaram a frequentar o espaço usufruindo-o para brincar. A arborização existente apresentava-se em grandes proporções e mais rasteira, porém não era nativa, como mostra a Fig. 3. Avaliando algumas fotos percebe-se também que a área correspondente era escalonada (Fig. 4).



Figura 3. Vegetação rasteira e não nativa. Fonte: Arquivo Histórico Municipal Juarez Miguel Illa Font.




Figura 4. Terreno escalonado. Fonte: Arquivo Histórico Municipal Juarez Miguel Illa Font.

Anos depois, o quiosque de madeira foi substituído por outro de alvenaria, funcionando como restaurante e bar, mas infelizmente a iniciativa não obteve êxito, sendo abandonado.

No ano de 1985 houve uma grande transformação da Praça Júlio de Castilhos, uma remodelação do espaço que permanece até hoje, na intenção de atrair novamente a população a frequentar o espaço. Essa modificação contou com brinquedos para as crianças, bancos, construção de um palco ao ar livre, instalação de monumentos, renovação de paisagismo e o antigo quiosque passou a ser a Casa do Artesão, ambiente para venda de artesanatos. No entanto, com o passar dos anos, o lugar obteve a aparência de esquecido e solitário novamente.

Atualmente a praça apresenta-se estática em relação a estes problemas, espaços em desuso, atividades obsoletas, vegetação inadequada, além de estar descuidada e de ainda não ter sido realizada nenhuma intervenção que atraísse os habitantes a frequentá-la novamente.

## 3. METODOLOGIA

Segundo Villarouco e Mont'alvão (2011), a avaliação pós ocupação, usada como amparo para o estudo, compreende a análise de determinado espaço, englobando a percepção arquitetônica e a percepção dos usuários. Levando em conta marcas características no espaço físico, que demonstrem a apropriação do âmbito, neste caso da praça.

Para análise do desempenho e da qualidade do âmbito da praça foram utilizados como parâmetro três aspectos, citados por Reys e Lay (1995): a estética, o uso e a estrutura. A estética refere-se à assimilação, principalmente visual, que o indivíduo tem sobre determinado espaço e os elementos arquitetônicos. O uso é a maneira de apropriar-se do lugar, a forma como se usufrui e utiliza o que está a dispor. A estrutura caracteriza-se pela organização espacial de determinado ambiente, proporcionando que as pessoas entendam como acessá-lo.

As características principais que foram observadas são: (1) paisagismo; (2) mobiliário; (3) pavimentação; (4) movimentação; (5) usuário do espaço.

Para reunir o conteúdo necessário, foram feitas leituras de livros, artigos científicos, revistas, teses, dissertações e investigações sobre projetos referenciais; e também foi realizada visita ao arquivo histórico municipal Juarez Miguel Illa Font de Erechim, com a finalidade de buscar informações sobre a praça em questão.

Ainda, foram realizadas observações da infraestrutura do local, anotações sobre mudanças comportamentais dos usuários em relação ao espaço, levantamentos fotográficos e elaboração e aplicação de checklist.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Mudanças no contexto da praça

Durante o período de 11 de março a 10 de junho de 2019, o terminal de ônibus urbano passou a funcionar temporariamente na Praça Júlio de Castilhos. Com instalações improvisadas, tendas de estrutura metálica cobertas com lona branca (Fig. 5), o lugar de embarque e desembarque funcionou na R. Joaquim Brasil Cabral, onde paralelamente na calçada estavam as coberturas.



Figura 5. Tendas vistas de dentro da praça. Fonte: Autores, 2019.

Diante desta situação foram pautados alguns aspectos a serem analisados, para identificar os impactos gerados pela mudança: conservação da infraestrutura antes existente, movimentação das pessoas e ocupação dos espaços.

O outro importante fato observado, foi a construção de um novo monumento, onde antes compreendia o palco ao ar livre. As obras para construção começaram poucos dias após o início do funcionamento do terminal temporário e a inauguração foi no dia 1° de maio de 2019.

Este novo componente da Júlio de Castilhos, homenageia o castelinho, e foi feito em comemoração ao centenário de emancipação da cidade de Erechim. Desenhado pelo artista plástico Harrysson Testa, sua inauguração foi a última solenidade em comemoração ao aniversário do município.

O monumento é composto por 100 tubos de aço inox, fixados na vertical em uma base de concreto, onde cada elemento corresponde a um ano da cidade. Ainda integra a obra um coroamento, um letreiro que diz "ERECHIM 100 ANOS" e um espelho d'água diante o palco. Na Fig. 6 pode-se visualizar o resultado final.

O espelho da água tem cerca de 9,0 metros de largura por 6,35 metros de comprimento, o monumento resultou aproximadamente em 7,20 metros de altura, 7,50 metros de comprimento e 20,30 metros de largura. Ele se localiza paralelamente a Av. Maurício Cardoso, na área mais alta da praça.



Figura 6. Vista superior do monumento 100 anos Erechim, no dia da inauguração. Fonte: Site Prefeitura Municipal de Erechim.

Em virtude da construção deste novo monumento, foram elencados os seguintes tópicos a serem examinados: importunos causados durante a construção, conservação da infraestrutura já existente, aparência arquitetônica após conclusão da obra.

### 4.2 Avaliações in loco

A metodologia utilizada neste trabalho incluiu levantamento fotográfico com coleta in loco de informações relacionadas aos elementos presentes no espaço, levantamentos físicos que possibilitaram a investigação do desempenho do ambiente construído, observações comportamentais que objetivaram gerar dados sobre atividades realizadas (como e o que as pessoas fazem) e as oportunidades e restrições de uso proporcionadas pelo ambiente.

Para auxiliar no recolhimento destes dados, elaborou-se um checklist em forma de tabelas, contribuindo assim na elaboração das análises. Na sequência segue o exemplo da tabela elaborada para a realização dos levantamentos (Fig. 7).

| CHECK LIST BANCOS | | | |
|---|---|---|---|
| Tipo/Material | Qntd. | Adequado? | Observações |
| | | | |

Figura 7. Tabela de recolhimento de dados. Fonte: Autores, 2019.

Como resultados obtidos pelo estudo, pode-se citar a avaliação das vistas da praça, pavimentação externa e interna, 33 postes de iluminação, 12 lixeiras, 25 bancos, 3 monumentos históricos, 7 vagas de estacionamento, 4 rampas, 4 escadas, 6 brinquedos, toda vegetação do local, 2 edificações (banheiro e casa do artesão) e a ocupação e circulação das pessoas.

Antes de adentrar aos ambientes da praça, foi efetuada a análise das vistas externas visualizadas pelos transeuntes. Esta parte é uma das mais importantes a se examinar, pois é a primeira impressão sobre o local, e é nesse momento que o cidadão decide utilizar o lugar, transitar por ele ou se vai desviar de seu percurso.

Na vista oeste, paralela à Av. Maurício Cardoso, um conjunto de elementos forma um fechamento panorâmico, que impede a visualização interna do espaço, como apresenta a Fig. 8. A noite, por não enxergar o que está além destes componentes, uma pessoa sente insegurança, pois não sabe o que a espera. O novo monumento contribuiu bastante neste problema.



Figura 8. Vista oeste, inviabiliza a visualização. Fonte: Autores, 2019.

Nas vistas sul e norte, não há nenhum elemento que cause grande ocultação, o problema neste caso é parte da praça se encontrar em nível superior ao da rua. Com a dificuldade de visualizar o interior do local é complicado deduzir as condições a serem enfrentadas, se será possível transitar por ela depois de acessá-la.

Na vista leste temos novamente o problema de barreira visual, agora através de vegetação densa, muro de concreto e um barranco mediano (Fig. 9). Estes elementos causam um grande bloqueio do horizonte, e como é um trecho em aclive, piora ainda mais a situação. Pouca iluminação combinada com visualização insuficiente gera medo.



Figura 9. Vista leste, barreira visual por vegetação e barranco. Fonte: Autores, 2019.

Para melhor compreensão dos itens examinados no espaço da praça, foi criada uma lista com observações e dados quantitativos e qualitativos, descrita em seguida:

1. Estacionamento – há sete vagas, dentre elas uma para idoso e uma para cadeirante, todas são na R. Luiz Hermínio Berto. Encontram-se em bom estado, sinalizadas no chão e por placas; e são muito ocupadas. Para criar as vagas foi avançado um recuo no passeio, o qual ficou deveras estreito, logo desconfortável para os indivíduos que passarem lado a lado (Fig. 10).

2. Acessos – são poucos e ineficientes, por isto acabou por gerar caminhos alternativos (Fig. 11). Falta acessibilidade, há rampas com alta inclinação e sem corrimões, os quais também não estão presentes nas escadas. O acesso mais utilizado é pela Av. Maurício Cardoso pois a praça está no mesmo nível da rua.

3. Passeio externo – composto por pedras portuguesas, em alguns trechos há falhas, buracos e desníveis, causados por árvore de grande porte e falta de manutenção. Há uma calçada improvisada na porção menor da praça, que causa dificuldade de uso. As pessoas geralmente são forçadas a andar em ziguezague (Fig. 12 e Fig. 13).

4. Caminhos internos – são compostos por dois tipos, os de pedra basalto e os de terra com pedra brita. Ambos estão descuidados, faltam pedras e acabamento no término da calçada (Fig. 14), há mais terra que brita em alguns pontos. Estes fatores geram riscos de queda, dificuldade no caminhar e quando chove fica muito sujo (Fig. 15).

5. Bancos – há dois tipos, os de concreto na sua totalidade que ficam na porção menor da praça; são desconfortáveis e raramente ocupados. E os de assento de concreto e encosto de madeira, com floreiras anexas, as quais acumulam lixos e capoeiras. No geral estão em estado médio de conservação. Os bancos que ficam localizados mais escondidos ou isolados não são utilizados (Fig. 16 e Fig. 17).

6. Lixeiras – quantia satisfatória, fazem falta em alguns pontos, parte está mal posicionada e, consideradas com outros elementos, causam dificuldades no percurso. Algumas apresentam-se quebradas, há duas lixeiras antigas e estas são ruins pois dificultam a coleta do lixo, já que não tem como colocar sacolas nelas (Fig. 18 e Fig. 19). Apesar da presença de lixeiras, há lixo no chão.

7. Iluminação – a iluminação interna da praça se dá por postes (Fig. 20), todos são iguais e bem distribuídos, mas nem todos funcionam. Algumas vegetações anulam a luz e a noite a praça fica mal iluminada. Ao redor do novo monumento há uma iluminação diferenciada, mas não é sempre que está ligada. Quando não ligada, o monumento gera uma grande sombra que não permite enxergar o que tem atrás.

8. Playground – os brinquedos estão mal posicionados, sem manutenção, não atrativos, raramente uma criança os utiliza e uma circulação atravessa o playground, o que é inapropriado. Há vegetação densa ao redor e no meio do ambiente, tornando o lugar com pouca visibilidade. Quem mais utiliza o espaço são os fumantes e mesmo durante o dia passa sensação de insegurança. (Fig. 21 e 22)

9. Vegetação – não se apresenta adequada em muitos pontos, no playground é muito densa e está estragando o muro. Uma árvore de grande porte levantou a calçada e há aglomerações de vegetação descuidada em alguns pontos, necessitando de uma renovação no quesito plantas (Fig. 9, 21 e 23).

10. Edificações da praça – há duas, o banheiro que está com vidro quebrado, paredes pichadas (Fig. 24) e passa uma sensação de perigo e a Casa do Artesão que tem muitas grades, também está pichada, sua aparência não é nada convidativa e não atrai fluxo de pessoas (Fig. 25).

11. Monumentos – o novo monumento apesar de ser recente, já apresenta falta de manutenção com relação ao espelho d'água, que necessita de mais cuidados (Fig. 26). Os outros dois monumentos estão parcialmente conservados, encontram-se sem algumas partes e sujos (Fig. 27).



Respectivamente da esquerda para direita - Figura 10. Estacionamento e estreitamento do passeio/ Figura 11. Criação de caminho alternativo/ Figura 12. Calçada improvisada/ Figura 13. Passeio externo degradado. Fonte: Autores, 2019.



Respectivamente da esquerda para direita - Figura 14. Falta de término na calçada/ Figura 15. Caminho de terra e brita/ Figura 16. Banco todo de concreto. Fonte: Autores, 2019.



Respectivamente da esquerda para direita - Figura 17. Banco de concreto e madeira com floreira anexada/ Figura 18. Lixeira quebrada/ Figura 19. Lixeira antiga/ Figura 20. Poste de iluminação. Fonte: Autores, 2019.



Respectivamente da esquerda para direita - Figura 21 e 22. Playground, vegetação e brinquedos/ Figura 23. Vegetação estragando muro. Fonte: Autores, 2019.






Respectivamente da esquerda para direita – Figura 24. Banheiro, pichação e vidros quebrados/ Figura 25. Casa do Artesão, pichação/ Figura 26. Espelho d'água sujo/ Figura 27. Monumento degradado e sujo. Fonte: Autores, 2019.

No período em que a praça abrigou o terminal de ônibus urbano, esta permaneceu com suas instalações sem modificações, nenhum equipamento de auxílio ou novo banco, somente foram acrescentadas as tendas, as quais depois de retiradas deixaram pequenos buracos na calçada pela sua fixação com estacas metálicas.

Como a população necessitava utilizar o espaço, este passou a ser frequentado por muitas pessoas que esperavam o ônibus ou desembarcavam dele. Por este fator, a maior concentração de frequentadores se deu na faixa de passeio paralela ao corredor de ônibus. A mureta que divide o passeio externo da praça do ambiente interno, transformou-se em lugar de descanso e espera, sendo usufruída como banco.

Consequentemente os outros pontos da Júlio de Castilhos começaram a ser mais ocupados, como o playground, que contém muitos bancos e era o menos utilizado anteriormente. Os canteiros elevados também passaram a ser utilizados como lugar de descanso.

Observando o aumento da quantia de fluxo e frequentadores, durante o tempo em que a praça atuou como terminal, percebeu-se que os habitantes perderam um pouco o sentimento de insegurança que o lugar transmitia pois, como geralmente havia pessoas circulando, outras sentiam-se seguras de passar pelo local ou utilizá-lo. Este acontecimento serviu como prova para demonstrar que, ao se propor uma atividade contínua em determinado local, incentiva-se os cidadãos a ocupar este espaço continuamente.

Fazendo referência ao novo monumento, citado anteriormente, na etapa de execução ocorreram alguns pequenos incômodos como trânsito de equipamento em parte da praça, ruídos de construção e poluição visual pelo tapume ao redor da obra (Fig. 28), porém, todos estes foram toleráveis, pois eram necessários e as situações citadas foram provisórias. Inconvenientes foram as vezes em que ocorreram permanência de carros nos caminhos de circulação interna da praça.

Pela periodicidade de veículos e equipamento acessando a construção, as pedras do piso, da rampa de acesso pela R. Luiz Hermínio Berto, desnivelaram, gerando perigo para os pedestres e prejudicando a acessibilidade, conforme Fig. 28.



Figura 28. Tapume da obra do novo monumento e piso irregular na rampa, vista da R. Luiz Hermínio Berto. Fonte: Autores, 2019.

Na manhã do dia 10 de junho o terminal de ônibus urbano oficial foi reinaugurado e as atividades voltaram ao normal, com isso foi possível observar as mudanças causadas pelo uso da praça temporariamente. A concentração de pessoas diminuiu significativamente, mas não voltou a ser tão baixa como antes. Através do uso do lugar por necessidade, a população acabou se afeiçoando ao espaço novamente. Porém, aos poucos, em alguns espaços, a praça parece estar retornando a transmitir a antiga sensação de insegurança e abandono. A população deixa de permanecer na praça e volta a utilizá-la somente como meio de circulação rápida.

## 5. CONCLUSÃO

A busca por informações históricas da praça Júlio de Castilhos e a revisão bibliográfica de livros, dissertações, teses, projetos referenciais, revistas e artigos científicos foram de suma importância para compreender o assunto abordado e a necessidade de seu estudo.

O levantamento fotográfico, as observações, as análises e o checklist foram de grande ajuda na percepção das necessidades do lugar, permitindo a investigação de dados e anotações que fortaleceram o trabalho.

Dois fatos que ocorreram durante o período de observação da praça foram de grande relevância no estudo do local, pois tiveram como consequência mudanças significativas na aparência e na ocupação pelos cidadãos. O primeiro deles foi a construção de um novo monumento e o segundo o fato de o terminal de ônibus urbano ter funcionado provisoriamente no local durante alguns meses.

Com o estabelecimento de contato contínuo com o espaço puderam ser constatados vários agravantes de sua decadência e negligência, problemas de mobiliário quebrado e subutilizado, brinquedos não atrativos, vegetação inapropriada que cria sombras e pontos obscuros, barreiras visuais que impedem visualizar o interior do espaço, falta de acessibilidade, ambientes ociosos, pavimentação deficiente, insuficiência de iluminação e ausência de frequentadores.

Apesar das muitas dificuldades identificadas, percebe-se que a proposição de melhorias é viável e que os tópicos investigados permitem reflexão e direcionamento para a realização de um bom projeto, seja ele novo ou de revitalização e remodelação.

A necessidade da avaliação pós-ocupação em espaços públicos, de um estudo e entendimento desses ambientes é de suma importância para cada vez mais podermos realizar projetos e intervenções de qualidade. Este é um sistema de retroalimentação, os resultados, sejam eles positivos ou negativos ajudam na tomada de decisões em novas propostas e requalificações. A criação de artigos e livros sobre estes assuntos gera uma espécie de arquivo de referências.

## 6. REFERÊNCIAS

Alex, S., 2011. "*Projeto da praça*: convívio e exclusão no espaço público". Editora Senac São Paulo, SP, Brasil, 2ª edição.

Culau, C. C., 2007. "*Transformação da Paisagem na Área Central de Erechim* – 1918 a 2007". In Arquivo Histórico Juarez Miguel Illa Font.

Frainer, J., 1936. "*Álbum do município de Erechim*". Editora Livraria Modelo. In Arquivo Histórico Juarez Miguel Illa Font.

Fünfgelt, K., 2004. "*História da Paisagem e Evolução Urbana da Cidade de Erechim*". In Arquivo Histórico Juarez Miguel Illa Font.

Gomes, M. A. S., 2008. "*De largo a jardim:* praças públicas no Brasil". In Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/967>. Acesso em 24 de setembro de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ERECHIM, 2019. "*Prefeitura entrega terminal urbano rodoviário*". <https://www.pmerechim.rs.gov.br/noticia/13574/10-06-2019/prefeitura-entrega-terminal-urbano-rodoviario>. Acesso em 20 de junho de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ERECHIM, 2019. "*Começa a ser executado projeto do marco '100 Anos De Erechim"*".<https://www.pmerechim.rs.gov.br/noticia/13313/25-03-2019/comeca-a-ser-executado-projeto-do-marco-100-anos-de-erechim>. Acesso em 04 de julho de 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ERECHIM, 2019. "*Erechim ganha novo cartão postal do centenário*". <https://www.pmerechim.rs.gov.br/noticia/13437/02-05-2019/erechim-ganha-novo-cartao-postal-do-centenario>. Acesso em 04 de julho de 2019.

Reis, A. e Lay, M. C., 2006. "*Avaliação da qualidade de projetos* – uma abordagem perceptiva e cognitiva". Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.6, n.3, p. 21-34.

Viero, V. C. e Filho, L. C. B., 2009. "*Praças Públicas*: Origens, Conceitos e Funções". In Academia <https://www.academia.edu/15176779/PRA%C3%87AS_P%C3%9ABLICAS_ORIGEM_CONCEITOS_E_FUN%C3%87%C3%95ES >. Acesso em 24 de setembro de 2019.

Villarouco, V. e Mont'alvão, C., 2011. "*Um novo olhar para o projeto*: a ergonomia no ambiente construído". 2AB Editora Ltda, Teresópolis, RJ, Brasil.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DOS FLUXOS ESTABELECIDOS EM UMA PRAÇA DE ALIMENTAÇÃO DE UM SUPERMERCADO

**Gabriela Stankiewicz**
**Paula Gisele Gomes Rassia**
**Natalia Nakadomari Bula**
Universidade Regional Integrada do Alto Uriguai e das Missões – URI *Campus* II , RS 331, Erechim - RS
gabistank@gmail.com
paulagisele.arq@gmail.com
nataliabula@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Este artigo apresenta questões pertinentes à coleta de dados acerca da observação do comportamento espacial do usuário no ambiente construído. Tem por objetivo analisar os fluxos dos consumidores na praça de alimentação de um supermercado no município de Erechim, no estado do Rio Grande do Sul. Através da aplicação da avaliação pós-ocupação na praça de alimentação do Supermercado foram obtidos os dados que geraram os resultados do presente trabalho. A metodologia utilizada foi o método Mapa Comportamental, que consiste no registro gráfico das observações relacionadas com as atividades dos usuários no espaço, e permite identificar os fluxos, a interação, os usos e as relações espaciais. Como resultado da leitura do ambiente e interpretação do comportamento dos usuários, concluiu-se que as circulações estabelecidas favorecem ao consumo na praça de alimentação, no entanto elas poderiam ser otimizadas evitando-se conflitos na mobilidade e oferecendo espaço adequado aos consumidores que iriam à praça de alimentação após efetuar suas compras. O diagnóstico pode servir de referência para proposição de fluxos eficientes em atividades semelhantes, bem como para a compreensão das tendências de comportamento dos usuários em praças de alimentação na região.*

***Palavras-chave:*** *Supermercado, praça de alimentação, fluxos, mobilidade, consumo.*

## 1. INTRODUÇÃO

Diante das formas atuais de consumo, nas quais os consumidores buscam não apenas preços atrativos, mas prezam pelo bom atendimento, qualidade no produto e ambientes confortáveis, a arquitetura torna-se imprescindível na elaboração dos processos de consumo e organização espacial. Em arquitetura, de acordo com Celeski e Reis ( 2018) “os espaços físicos influenciam o desenvolvimento de atividades e o comportamento do indivíduo à medida que a interação entre homem e ambiente construído ocorre”. O edifício é o espaço cujas principais características são a abrangência de usuários, a coletividade e o uso social. Tem em sua finalidade receber um variado número de visitantes, comumente num fluxo médio ou grande e, em geral, são espaços, com uma arquitetura que o torne perceptível no ambiente. Portanto, para uma empresa obter êxito em seus negócios, não basta estar preocupada apenas em efetivar vendas, angariar clientes, é necessário empenhar-se para fidelizar e conquistar o cliente. Ainda de acordo com Celeski e Reis (2008) “Reconhece-se que o design pode influenciar muito positivamente o modo como os consumidores percebem um ambiente construído.”

Em arquitetura, o edifício institucional é o espaço público cujas características principais são a abrangência de usuários, a coletividade e uso social. Tem como finalidade receber um grande e variado número de visitantes, comumente um fluxo de médio a grande e, em geral, são espaços construídos em locais de fácil acesso, com uma arquitetura que o torne perceptível no ambiente. (BAPTISTA; BERNARID, 2018).

A arquitetura comercial é responsável por criar espaços mais atrativos e estratégias que envolvam o cliente e o incentivem a consumir os produtos oferecidos. Conforme Silva e Pinheiro (2006) apud Celeski e Reis (2018), toda a atmosfera de compra, ou seja, comunicação externa, layout, iluminação, temperatura, cores, aromas e sons têm que ser planejada para que cada um desses detalhes comunique a que público e segmento a loja é dirigida e qual é sua identidade visual. Esse processo de indução é sutil e eficaz, pois está presente em todos os elementos que compõem o ambiente e participa da formação da identidade do lugar. O conceito arquitetônico pode ser aplicado de diversas maneiras, como em mobiliários, tipos de revestimentos, iluminação e ventilação natural e artificial, texturas, cores, entre outros. Este estudo visa abordar a questão dos fluxos e percursos internos, relacionado com a qualidade do lugar e a

autonomia e poder de mudança que o indivíduo tem sobre o espaço, controlando o sistema e alterando-o conforme sua vontade.

O presente artigo aborda os objetivos da análise comportamental em relação aos fluxos. Após traz a explanação da metodologia utilizada e discorre sobre a aplicação do método no local de estudo e apresenta ainda esquemas gráficos e tabelas com os resultados obtidos.

## 2. OBJETIVO

É possível constatar que um dos maiores problemas ergonômicos arquiteturais é a deficiência de fluxos e circulações, portanto avaliar a interação das pessoas com o ambiente, os fluxos escolhidos e como isso influencia em todo o sistema comercial, contribui para criar um ambiente adequado e que atende os anseios e necessidades dos usuários. A partir dos pressupostos de prover a equiparação do uso, a flexibilidade simples e intuitiva do uso, assegurar percepção de informação minimizando os riscos de acidentes e oferecendo um espaço para uso e interação que exija pouco esforço físico, o Desenho Universal é a forma de conceber tais ambientes com qualidade (BAPTISTA e BERNARDI, 2018)

A análise de fluxos na praça de alimentação do supermercado, tem por objetivo diagnosticar os conflitos e as potencialidades dos percursos em ambientes internos, bem como as preferências dos consumidores em ocupar os espaços. Também será possível estabelecer a relação da praça de alimentação com o mercado, a fim de verificar se tal vinculação traz benefícios ou prejuízos para o empreendimento. Pode contribuir para o melhor aproveitamento do espaço, otimização dos fluxos e estímulo ao consumo do comércio alimentício.

## 3. METODOLOGIA

## 4. Metodologia de Rheingantz

Esta pesquisa adotou uma metodologia de análise baseada nos princípios do Mapa Comportamental, que consiste no registro das observações do espaço, através de esquemas gráficos, anotações, zoneamentos e ilustrações, traduzindo os resultados em mapas de fluxos, permanências e comportamentos. O método auxilia na identificação dos arranjos espaciais, tais como o layout do ambiente, os fluxos e direções existentes, as interações entre as pessoas, o tempo que elas permanecem no espaço e a escolha predominante do transporte vertical entre dois ou mais pavimentos.

O momento de aplicação do mapa comportamental possui algumas ressalvas, pois conforme RHEINGANTZ, et al., 2009:

> A escolha do momento mais oportuno para a realização do mapeamento é outro aspecto importante a considerar. Atividades e movimentos eventuais ou não regulares não devem mascarar as atividades e movimentos mais comuns e frequentes. É importante abranger todos os horários de uso do ambiente em um mapeamento comportamental, uma vez que as expectativas de usos e atividades desenvolvidas no ambiente nos horários regulares podem diferir daqueles observados em outros momentos. Convém evitar programar observações em intervalos de tempo muito curtos em um mesmo dia, para evitar a ocorrência de repetição não representativa de atividades e/ou de pessoas. (p.38)

Portanto, para obter melhores resultados foi necessário ir ao local em diferentes dias e horários, a fim de analisar com maior precisão a realidade da ocupação no local. Ao total foram feitas duas visitas ao local, nas quais foram observadas quantas pessoas adentraram ao local, se o destino delas era a praça de alimentação, o mercado ou outra atividade, o meio de transporte vertical mais utilizado entre os três disponíveis (esteira rolante, escada e elevador) e as posições espaciais preferidas para consumo na praça de alimentação.

## 5. Metodologia de Unwin

"Simon Unwin nasceu em 1952, na Inglaterra, estudou na Escola Galesa de Arquitetura de Cardiff, onde elaborou sua tese de doutoramento. Atualmente é professor emérito de Arquitetura da Universidade de Dundee, na Escócia. "(BAPTISTA; BERNARID, 2018).

Foram utilizados os conceitos de elementos arquitetônicos da metodologia de Unwin (2013) estruturada em sua obra *A Análise da Arquitetura* onde define-se a ideia do estabelecimento do lugar identificando os elementos arquitetônicos responsáveis por criar ambientes de uso e acesso universal. Tais como: áreas elevadas, coberturas, barreiras, fechamentos, plataformas, entre outros.

Segundo Baptista e Bernarid, 2018 "Unwin aponta que com o lugar estabelecido e definido pelos elementos da arquitetura percebe-se a necessidade de organizar os espaços de acordo com as atividades que se realizam, e isso se dá novamente pelo emprego de outros elementos, básicos ou modificadores, através de estratégias de organização que permitam o uso desejado o que resulta na maioria das vezes em elementos sendo utilizados com mais de uma função, denotando a qualidade do projeto em questão".

## 6. Metodologia do Wayfinding

Segundo Celeski e Reis (2018), "O termo *wayfinding* aborda a relação entre o ambiente construído e comportamento do usuário.". Assim, este método é considerado completo por abordar tanto o consumidor quanto o ambiente, fazendo interelações que credibilizam a pesquisa. Quanto ao ser humano serão consideradas suas habilidades individuais, que irão caracterizar sua percepção e cognição frente ao ambiente construído em sua tarefa de deslocar-se. O ambiente construído será o provedor das informações para a orientação espacial. Zingale (2010) pontua que a orientação, a exploração e a navegação, configuram-se em três modalidades de comportamento espacial. Essas três modalidades são pertinentes às quatro fases de wayfinding – orientação, decisão da rota, monitoramento da rota e reconhecimento do destino – apontadas por Atkins et. al. (2008).

"O ambiente construído será o provedor das informações para a orientação espacial. Quanto ao ser humano, serão consideradas suas habilidades individuais, que irão caracterizar sua percepção e cognição em sua tarefa de deslocar-se" (RANGEL; MONT'ALVÃO, 2015). De acordo com Celeski e Reis (2018), na relação entre o sujeito e o ambiente, sob a perspectiva do usuário, localizar-se é uma ação que deve ser intuitiva e com o menor esforço cognitivo e interpretativo possível. Cabe ao ambiente fornecer as informações necessárias à orientação dos indivíduos contemplando suas habilidades, ou mesmo, suas restrições". (BINS ELY, 2006 apud CELESKI e REIS, 2018).

Além disso, a pesquisa teve três fases distintas para sua elaboração, definidas como: *pesquisa bibliográfica, estudo in loco e diagnóstico.*

A fase Pesquisa, foi constituída principalmente por levantamento bibliográfico referente à temas pertinentes ao estudo, consultando dissertações, teses, artigos e pesquisas científicas que pudessem nortear o estudo do tema. O estudo in loco foi realizado ao visitar o local em diferentes dias, podendo assim, obter um resultado mais efetivo do comportamento apresentado pelos consumidores. Uma vez que a observação feita em um só dia poderia não ser confiável por conta de variáveis que não competiam às autoras. Foi analisado o fluxo comportamental a partir da pesquisa in loco. A fase de diagnóstico, por fim, onde foi empregado o método de análise do ambiente físico através da metodologia do Mapa Comportamental.

## 7. APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo Rangel, et al., o deslocamento de um ponto ao outro para realizar determinadas atividades são tarefas, que envolvem processar a informação que surge dos diversos elementos que compõem o ambiente, a decisão da melhor rota, o monitoramento da rota para confirmar o caminho certo e o reconhecimento do destino.

Para a eficiência da observação sistemática é necessário (1) delimitar a área da realidade a ser observada; (2) indicar a população (o que ou quem), as circunstâncias (quando) e o local (onde) a ser observado; (3) preparar material de apoio à observação – planilhas de registro, equipamentos de fotografia e filmagem etc. Esses são alguns pontos pertinentes e fundamentais à observação (MORAES E MONT'ALVÃO, 2003, p.39).

Assim, foi definido que a área a ser analisada trata-se de uma praça de alimentação de um supermercado na cidade de Erechim, interior do estado do Rio Grande do Sul. Foram realizadas avaliações em dois dias e horários diferentes, ambas com duração de 01 (uma) hora. A primeira foi em um sábado, dia 16 de março de 2019, no intervalo das 12h55 até 13h55, nesse dia o comércio do município em geral não funcionou. A segunda avaliação foi em uma terça-feira, dia 19 de março de 2019, tendo início às 18h15 até às 19h15.

Para realizar as análises de fluxos e ocupação, os usuários foram classificados em três categorias, sendo elas:

Transeuntes: indivíduo que utiliza a praça de alimentação apenas como passagem para o supermercado;
Consumidor: utiliza o objeto propriamente dito;
Funcionários: pessoas que trabalham no local.

Cada tipo de usuário recebeu uma cor diferente para distinguir com clareza as necessidades e preferências de percurso de cada grupo, e assim definiu-se os principais percursos de cada grupo:

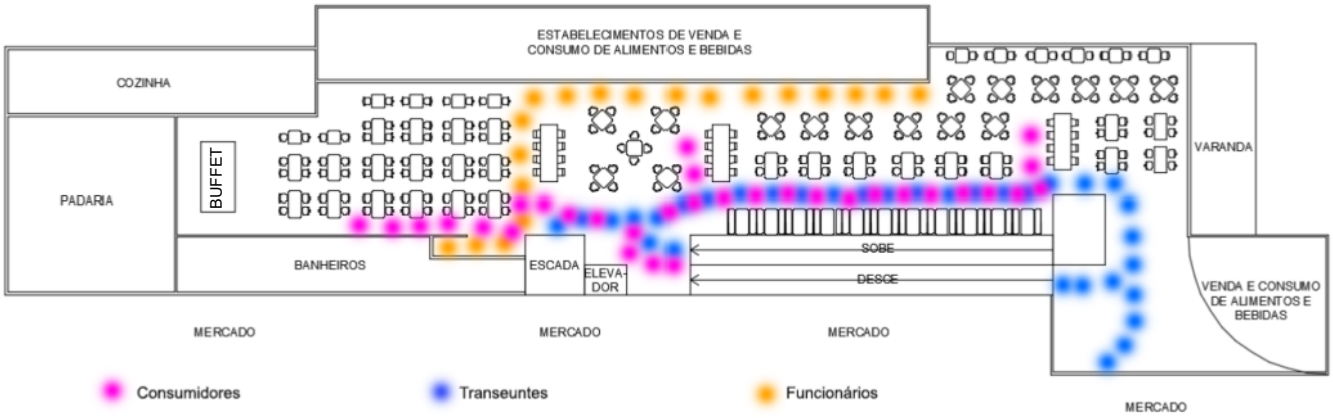



Figura 1. Percursos realizados pelas pessoas do local

A análise do local em resultou em Mapas de Fluxo e Ocupações dos usuários. Este material auxiliou a verificação da compatibilidade do ambiente projetado ao efetivamente existente. Apesar de ter o lugar como objeto de análise, os estudos estão intimamente ligados aos usuários, pois é através deles que são identificados os atributos do ambiente.

Ao chegar no local, optou-se por se posicionar em locais com maior visibilidade dos acessos, a fim de observar, quantificar e registrar os dados levantados. Os resultados serão demonstrados através de esquemas gráficos ilustrativos e posteriormente serão apresentados os levantamentos obtidos. As cores representadas nos esquemas gráficos correspondem à (1)Vermelho: alto fluxo, (2)Amarelo: médio fluxo, e (3)Verde: leve fluxo.

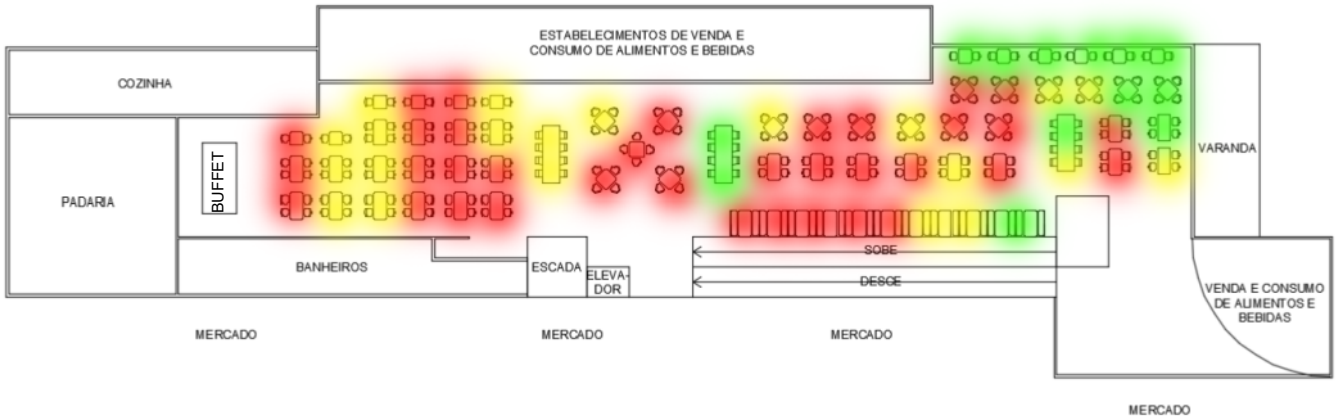



Figura 2. Mapa de calor e fluxos do dia 16/03/19

Avaliação do dia 16/03/2019 (Sábado)
Hora de início: 12h55
Hora de fim: 13h55
Transeuntes: 214
Consumidores: 39

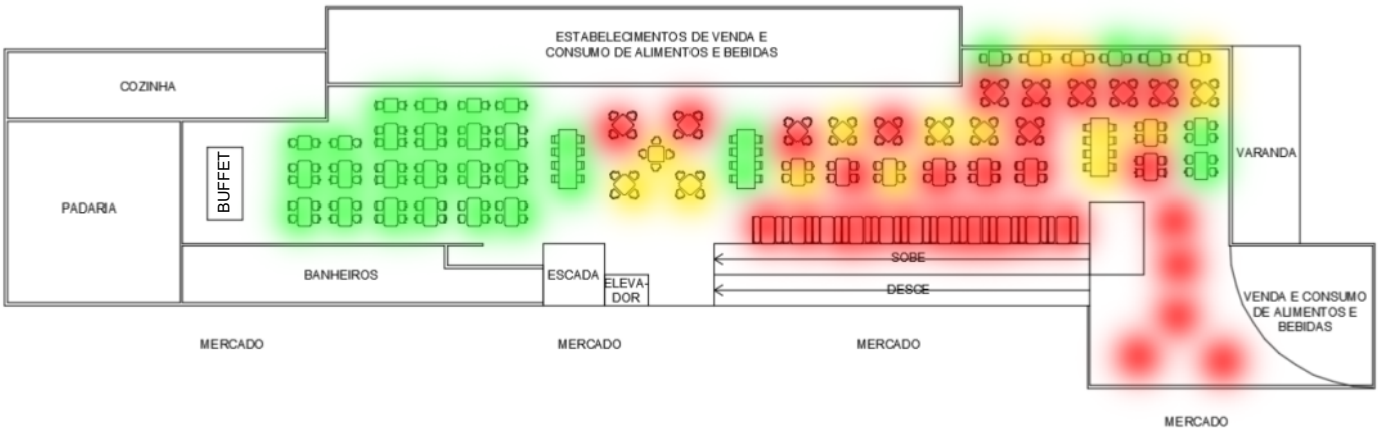



Figura 3. Mapa de calor e fluxos do dia 19/03/19

Avaliação do dia 19/03/2019 (Terça-Feira)
Hora de início: 18h15
Hora de fim: 19h15
Transeuntes: 297
Consumidores: 8

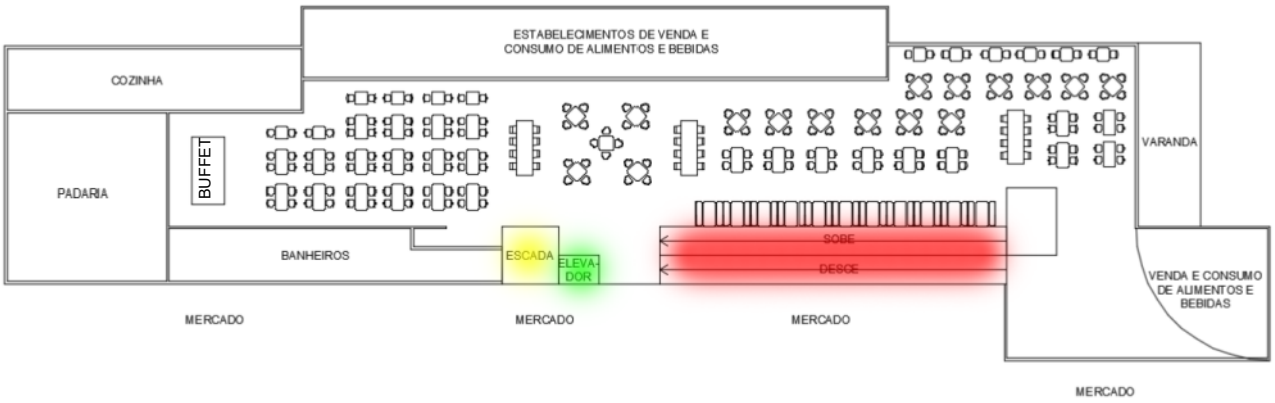



Figura 4. Mapa de calor e escolha dos modais

Média de escolha do modal:
Esteira rolante: 80%
Escada: 12%
Elevador: 8%

A partir dos dados coletados, percebe-se que a partir das circulações verticais estabelece-se o primeiro contato com a praça de alimentação, sendo que a maioria dos indivíduos que passam pelo local são considerados transeuntes, ou seja, apenas passam pelo local e se direcionam ao supermercado.

O grupo de pessoas que consome na praça de alimentação, prefere se posicionar nas mesas e cadeiras estofadas próximas à esteira rolante, ou próximo ao estabelecimento que servirá o alimento. Infere-se que isso ocorre pela comodidade que tais decisões oferecem, seja pelo conforto do mobiliário ou pela praticidade de acompanhar mais facilmente o pedido.

Os funcionários passam diversas vezes pelo acesso principal, juntamente com os consumidores e transeuntes para retornar os carrinhos de compras ao supermercado, isso pode gerar um conflito em dias de muito fluxo. Ademais, circulam pelo local, funcionários que fazem a limpeza e higienização das mesas e do espaço em geral.

Outro aspecto a ser considerado, refere-se ao comércio localizado próximo à esteira rolante, em direção ao supermercado. Notou-se que em dias de maior fluxo, ocorre um conflito entre os transeuntes que se direcionam ao supermercado e os consumidores que formam fila em frente ao estabelecimento, ocasionando uma quebra da fluidez do acesso e mobilidade.

## 8. CONCLUSÃO

O comportamento espacial decorre de mecanismos naturais, contudo, emerge da consciência dos seus movimentos e da atenção aos detalhes do ambiente. Assim, a observação dos processos de decisão e deslocamento em uma determinada rota geram dados em que é possível, a partir da avaliação pós ocupação, inferir quais são os pontos de conflitos em um determinado ambiente.

A setorização a partir da metodologia de Unwin, que definiu três espaços principais do estudo foi bastante útil e eficiente na coleta de dados e entendimento da hierarquia do espaço. Esta otimizou a aplicação das ferramentas de análise in loco, permitindo a leitura do espaço global. Os elementos construtivos destacados pelo autor em seu livro "A análise da Arquitetura", são de rápida compreensão e identificação, fatores imprescindíveis para a análise dos ambientes construídos.

A aplicação do Mapa Comportamental foi importante para identificar a apropriação dos espaços pelos usuários. O Mapa Comportamental foi capaz de identificar os aspectos mais refinados dos ambientes, como, o grande fluxo de pessoas em determinados pontos, como a banca de sorvetes em que pode favorecer o consumo por ser centralizado no ponto de maior congruência de usuários. Entretanto, também é o ponto em que causa obstáculos para outros transeuntes, justamente por se localizar no ponto crítico de divisão do mercado e praça de alimentação, onde pode ocasionar filas e obstruir a passagem.

Quanto aos modais de acesso vertical, nota-se a preferência pela esteira rolante, que embora seja o percurso mais longo, demonstra-se confortável, acessível e atrativo, pois enquanto a esteira está em funcionamento, e o indivíduo é levado ao segundo pavimento pode observar todo o espaço ao seu redor, a arquitetura do local, as pessoas que frequentam e perceber sensorialmente o que acontece no momento além de ir se familiarizando com o entorno, seguindo os preceitos do wayfinding.

Além disso, os diferentes estudos realizados naquele local provam que a complexidade de se projetar um espaço desse porte é muito maior do que se pode imaginar, uma vez que diferentes horários, causam diferentes fluxos, Assim, uma observação ao horário do almoço, pode contemplar muito mais pessoas do que uma avaliação ao início da manhã. Determinadas promoções podem variar tanto os fluxos como as pessoas que utilizarão o espaço, também e isso difere de estabelecimentos. Uma promoção no restaurante aumentará o fluxo ao horário das refeições, enquanto uma promoção nos demais estabelecimentos de venda e consumo de alimentos e bebidas que ficam abertos durante todo período de funcionamento do supermercado irão prover um aumento de fluxo menos considerável, pois seu atendimento se dá ao longo do dia e não apenas em um horário específico. Ademais, promoções no supermercado em si, podem causar fluxos em horários fora do horário comercial estabelecido pela Câmara de Dirigentes Lojistas, uma vez que os principais consumidores podem sair de seus respectivos trabalhos e ir ao supermercado se aproveitar da oportunidade.

## 9. REFERÊNCIAS

ATKINS, L.; HUR, M. B. & YANG, F. **Way-Finding**: Entrance Areas in Health Care Facilities. Health Design&Research. ARCH: 675-600, 2003 Availa

BAPTISTA, Mariana Bertani; BERNARDI, Núbia. **Mapas de fluxos e permanências:** método para estudo dos percursos do Centro de Educação e Cultura Anselmo Duarte – Salto/SP. Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente Construído, 2018.

CELESKI, Jéssica; REIS Alexandre Amorim dos. **Recomendações para o ambiente do supermercado visando atender os usuários idosos.** Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente Construído, 2018.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C.. **Ergonomia, Conceitos e Aplicações.** Rio de Janeiro: iUsEr, 2003.

RANGEL, Márcia Moreira. **Cor e Ergonomia do Ambiente Construído:** uma investigação da orientação espacial em um ambiente hospitalar. 255p. Dissertação (mestrado) – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Artes e Design, 2011.

RANGEL, Márcia Moreira; MONT'ALVÃO, Cláudia. **A observação do comportamento do usuário para o wayfinding no ambiente construído.** 15º ErgoDesign – Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia: Produto, Informações, Ambiente Construídos e Transporte.

RHEINGANTZ, Paulo; BRASILEIRO, Alice; ALCANTARA, Denise; AZEVEDO, Giselle; QUEIROZ, Mônica. **Observando a Qualidade do Lugar: procedimentos para a avaliação pós-ocupação**.Rio de Janeiro : Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Pós Graduação em Arquitetura, 2009.

ZINGALE, Salvatore. **Wayfinding using colour:** A semiotic research hypothesis. In CHEN, Lin-Lin; DJAJADINIGRAT, Tom; FEIJS, Loe; KYFFIN, Steven; STEFFEN, Dagmar; YOUNG, Bob. Design and semantics of form and movement – DeSForM 2010. Lucerne: 2010. Págs.22-32.

## 10. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE PARA IDOSOS EM UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE

**PERTILLE, Laura Forcelini**[1]
E-mail laurapertille@outlook.com
**BANHARA, Letícia Regina Pereira**[1]
E-mail leti_0905@hotmail.com
**FERRARESE, Roberta**[1]
E-mail robertaferrarese@hotmail.com
**BULA, Natalia Nakadomari**[1]
E-mail nataliabula@uricer.edu.br
[1]URI Campus de Erechim. Endereço: RS 331, n 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS

***Resumo:*** *Os problemas que afetam a qualidade de vida dos idosos demandam respostas urgentes em diversas áreas, como por exemplo, no caso do acesso à saúde, que é um direito social de todos os brasileiros. Com o envelhecimento populacional, algumas necessidades públicas são necessárias para o melhor atendimento da população idosa. A Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) criou a Norma Brasileira 9050 que estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade. Neste trabalho foi realizado um estudo de caso em Unidade Básica de Saúde no interior do Rio Grande Do Sul, que se baseou em uma metodologia de coleta de dados e entrevista. Inicialmente foi feito contato com a Secretaria de Saúde do Munícipio para autorização da pesquisa e esclarecimentos sobre os procedimentos adotados. No local, foram analisados os acessos à edificação, sanitários e circulação. Em relação à acessibilidade dos idosos, percebeu-se que a UBS tem uma preocupação com relação aos pacientes mesmo apresentando alguns fatores desconforme à NBR 9050/2015.*

***Palavras-chave:*** *atendimento, acesso, envelhecimento, serviço, saúde.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na Constituição Brasileira de 1988 BRASIL (1988) consta no Capítulo II art. 6 que o acesso à saúde é um direito social de todos os brasileiros. De acordo com o Ministério da Saúde BRASIL, M. da S. (2019), a Unidade Básica de Saúde (UBS) é a principal porta de entrada das redes de atenção à saúde no Brasil. Orienta-se pelos princípios da universalidade, da acessibilidade, do vínculo, da continuidade do cuidado, da integralidade da atenção, da responsabilização, da humanização, da equidade e da participação social.

De acordo com o Programa de Aceleração do Crescimento BRASIL, M. do P. (2019), a atenção primária é constituída pelas Unidades Básicas de Saúde (UBS), enquanto o nível intermediário de atenção fica a encargo do SAMU (Serviço de Atendimento Móvel as Urgência) e das Unidades de Pronto Atendimento (UPA), e o atendimento de média e alta complexidade é feito nos hospitais.

Para Ribeiro RIBEIRO (2000) a acessibilidade nos serviços de saúde na Atenção Básica tem sido destacada na literatura como um dos principais problemas relatados. A acessibilidade aos serviços de saúde na Atenção Básica possui a relação direta com a consolidação dos princípios do Sistema Único de Saúde – SUS.

O presente artigo tem como objetivo apresentar uma análise quanto a acessibilidade para idosos em Unidade Básica de Saúde no interior do Rio Grande do Sul, sendo um trabalho desenvolvido na disciplina de Avaliação Pós-Ocupação do curso de Arquitetura e Urbanismo. Baseando-se em uma metodologia de coleta de dados e entrevista, de caráter exploratório, por meio de uma pesquisa de campo.

Entende-se que APOs oriundas de disciplinas de graduação e pós-graduação que têm duração, em geral, de quatro meses ou menos e que não possuem um projeto de pesquisa não necessitam, consequentemente, de submissão e aprovação da atividade na Plataforma Brasil. Entretanto, recomenda-se que essa modalidade de trabalho não envolva pessoas com deficiência ou incapazes Abate et al. (2018).

## 2. ENVEHECIMENTO POPULACIONAL

Segundo Costa, et al. Costa; Basques (2017) a Organização das Nações Unidas (ONU) estabelece a idade de 60 anos para caracterizar a pessoa como idosa em países em desenvolvimento, nos países desenvolvidos essa idade passa para 65 anos.

O Estatuto do Idoso (Lei Federal nº 10.741, de 1º de outubro de 2003) considera idosas as pessoas que tem 60 anos ou mais, e para essas estão dispensados alguns direitos como gratuidade nos transportes, prioridade no atendimento em serviços públicos, entre outras medidas asseguradas pelo estatuto.

Para Bordignon Bordignon (2014):

> O envelhecimento é associado a um processo biológico de declínio das capacidades físicas, relacionado a novas fragilidades psicológicas e comportamentais. Então, o estar saudável deixa de ser relacionado com a idade cronológica e passa a ser entendido como a capacidade do organismo de responder às necessidades da vida cotidiana, a capacidade de motivação física e psicológica para continuar na busca de novos objetivos e conquistas pessoais e familiares Bordignon (2014).

Os idosos representam uma parcela importante da população brasileira e mundial, com tendência de forte crescimento. O autor descreve que o envelhecimento é aquele período que sucede à maturidade, sendo caracterizado pelo declínio das funções orgânicas, aumentando a vulnerabilidade a doenças Bordignon (2014).

Ainda segundo Bordignon Bordignon (2014), no processo de envelhecer existem alterações físicas, psicológicas e sociais, que ocorrem de maneira gradativa e natural, e o modo de vida e as condições genéticas de cada um empregam caráter peculiar a cada indivíduo.

Conforme o Relatório Mundial de Saúde e Envelhecimento de 2015, o número de pessoas com mais de 60 anos no país deverá crescer muito mais rápido do que a média internacional. Enquanto a quantidade de idosos vai duplicar no mundo até o ano de 2050, no Brasil triplicará. A porcentagem atual de idosos é de 12,5% e deve alcançar os 30% até 2050. Ou seja, logo seremos considerados uma "nação envelhecida" — de acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS essa classificação é dada aos países com mais de 14% da população constituída de idosos, como são atualmente França, Inglaterra e Canadá, por exemplo KNOPLOCH (2015).

De acordo com Costa, et al. Costa; Basques (2017) o envelhecimento da população brasileira é um grande desafio para todos, pois vivemos em um país na qual ainda temos diversos problemas estruturais a serem resolvidos, como o sistema de saúde público, o que reflete na qualidade de vida dos idosos.

## 3. ACESSIBILIDADE: DIREITO FUNDAMENTAL DOS IDOSOS

Segundo Ely, et al ELY; DORNELES (2006) o tema "acessibilidade" está se tornando cada vez mais comum em nosso país, e refere-se à possibilidade de plena integração entre as pessoas e os ambientes, sem segregá-las e permitindo que as atividades sejam realizadas com êxito, por todos os diferentes usuários ELY; DORNELES (2006).

Com o avanço da tecnologia e a necessidade de se garantir acessibilidade nas edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos, a Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) criou a Norma Brasileira 9050 Agnelli (2012). Esta Norma estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade ABNT (2015)

De acordo com a NBR 9050 ABNT (2015), acessibilidade é a possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privado de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou mobilidade reduzida.

Conforme Costa, et al Costa; Basques (2017):

> A tarefa de projetar ambientes para usuários idosos ainda é tratada de forma bastante superficial, visto que suas necessidades são quase sempre comparadas e reduzidas às necessidades das pessoas com deficiência, o que resulta em dificuldades e perigos, como encontrados nos ambientes urbanos onde os idosos circulam Costa; Basques (2017).

Para uma velhice saudável é necessário que haja interação harmoniosa do indivíduo com o meio ambiente. A preocupação com essa relação é particularmente importante, uma vez que o planejamento do ambiente construído e a acessibilidade urbana são temas emergentes relacionados ao estudo da velhice e do envelhecimento, com poucas investigações publicadas Costa; Basques (2017).

## 4. METODOLOGIA

O presente artigo foi resultado de um trabalho realizado na disciplina de Avaliação Pós-Ocupação – APO, com o intuito de aplicar alguns métodos e técnicas para avaliação de ambientes do ponto de vista do usuário.

De acordo com Rheingantz, et al. RHEINGANTZ et al. (2009), APO é um:

> Processo interativo, sistematizado e rigoroso de avaliação de desempenho do ambiente construído, passado algum tempo de sua construção e ocupação. Focaliza os ocupantes e suas necessidades para avaliar a influência e as conseqüências das decisões projetuais no desempenho do ambiente considerado, especialmente aqueles relacionados com a percepção e o uso por parte dos diferentes grupos de atores ou agentes envolvidos RHEINGANTZ et al. (2009).

Para desenvolver este trabalho foram utilizados alguns dos métodos descritos por Rheingantz, et al., RHEINGANTZ et al. (2009) no livro "Observando a qualidade do lugar/Procedimentos para a avaliação pós-ocupação".

Foi desenvolvido um Mapa Mental baseado nas percepções em relação à UBS, que, segundo Rheingantz, et al. RHEINGANTZ et al. (2009), é um instrumento baseado na elaboração de desenhos ou relatos de memória representativas das ideias ou da imageabilidade que uma pessoa ou um grupo de pessoas têm de um determinado ambiente.

Posteriormente, foi realizada uma entrevista com os usuários que utilizavam a Unidade Básica de Saúde no dia da visita. Segundo Rheingantz, et al., RHEINGANTZ et al. (2009), a entrevista é uma das principais técnicas de trabalho em quase todos os tipos de pesquisas utilizadas nas ciências sociais e pode ser definida como relato verbal ou conversação com um determinado objetivo. Gera um conjunto de informações obre o que as pessoas pensam, sentem, fazem, conhecem, acreditam e esperam.

Foi escolhida a Entrevista estruturada para ser aplicada na UBS. Ainda de acordo com Rheingantz, et al., RHEINGANTZ et al. (2009) uma entrevista estruturada é aquela onde o entrevistador segue um roteiro previamente programado e impresso em um formulário. Se assemelhando a um questionário, do qual se diferencia, basicamente, pelo procedimento de resposta. Enquanto o questionário é distribuído para ser respondido sem a presença do entrevistador, na entrevista o questionário serve de roteiro da conversação.

Este estudo baseou-se em uma metodologia de coleta de dados e entrevista, de caráter exploratório, por meio de uma pesquisa de campo. Dessa forma, a fonte da coleta de dados para a análise deste estudo foram as entrevistas realizadas com os usuários do local, questionando-os quanto as percepções da UBS, o desenvolvimento de um mapa mental e os registros fotográficos. Diante do pouco tempo disponível para realização da pesquisa, optou-se por abranger itens básicos e indispensáveis, para garantir um estudo eficiente e objetivo.

## 5. ESTUDO DE CASO: UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE

A coleta de dados foi realizada através de pesquisa e entrevista no local no dia 15/03/2019. Inicialmente foi feito contato prévio com a Secretaria de Saúde do Munícipio para autorização da pesquisa e esclarecimentos sobre os procedimentos adotados. Foram analisados três itens: acessos à edificação, sanitários e circulação.

A estrutura física da UBS conta com dois pavimentos (Fig. 01 e 02), sua construção foi entre os anos de 2010 e 2011 e, posteriormente, foi realizada uma ampliação. Segundo o atual Secretário da Saúde a UBS realizou mais de 20 mil atendimentos no ano de 2018, e atualmente comporta 380 tipos de medicamentos em sua farmácia e são fornecidos medicamentos por meio de licitações com as farmácias locais.




Figura 01. Esquema do pavimento Térreo.

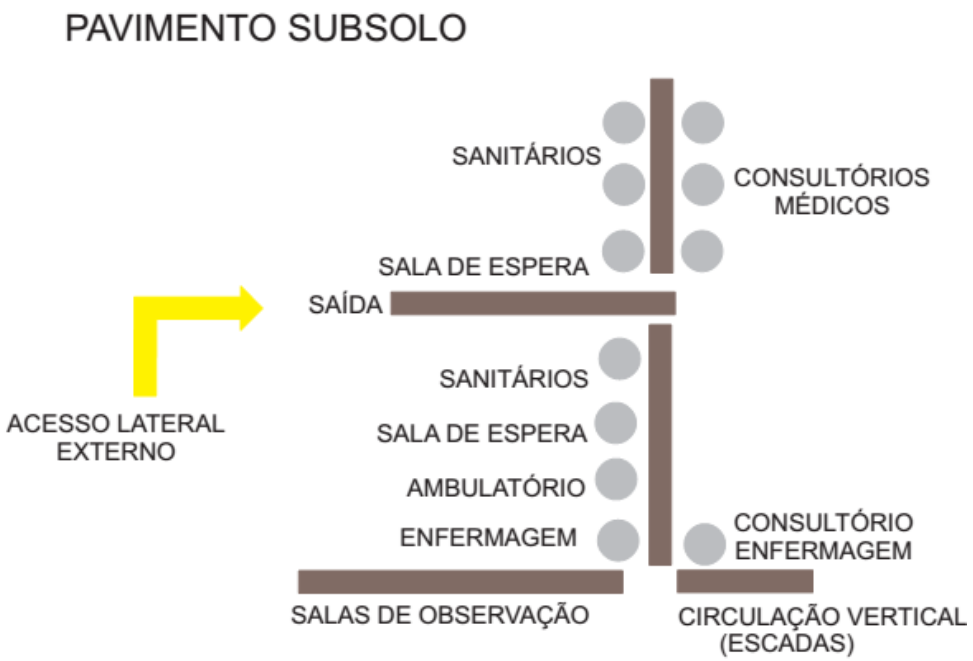



Figura 02. Esquema do pavimento Subsolo.

A UBS também realiza o encaminhamento de mais de 800 consultas especializadas por ano. A Prefeitura Municipal oferece auxílio aos munícipes por meio de descontos nessas consultas. Esses encaminhamentos são realizados visto que a unidade não comporta todas as especialidades em sua estrutura.

Os casos graves são encaminhados para o Hospital de uma cidade vizinha de maior porte, ficando a aproximadamente 13 km de distância da UBS, esse trajeto demora em torno de 20 minutos. Isso ocorre porque a unidade não tem estrutura suficiente para realizar atendimento mais complexos. Para a análise foram considerados os itens descritos na Tabela 01. Para a análise quanto a acessibilidade para os idosos na UBS foi considerada os princípios estabelecidos pela NBR 9050/2015 e seus anexos.

Tabela 01. Série de itens considerados para análise

| **Item** | **Acesso principal à edificação** | **Sanitários** | **Circulação** |
|---|---|---|---|
| 1 | Rampa | Sanitário destinado à acessibilidade | Áreas para circulação de cadeira de rodas |
| 2 | Corrimão | Lavatório | Piso |
| 3 | Piso externo | Piso | Corrimão |
| 4 | Porta de acesso principal | | Portas |

Analisando a UBS pode-se concluir que a mesma não apresenta barreiras de acesso. Um mecanismo de acesso implantado foi a rampa lateral, observamos que o desnível é de 1,5 m (Fig. 03). De acordo com a Norma, a cada 0,8 m de desnível com inclinação de 6,25 a 8,33% é necessário um patamar de descanso, o que não foi observado no local (Fig. 04). Também observamos que apenas um lado possui corrimão e segundo a mesma normativa é necessário corrimão dos dois lados.

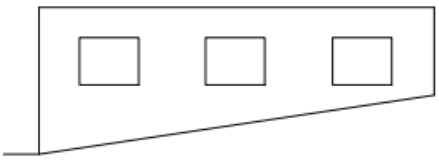


Figura 03. Esquema atual da rampa.

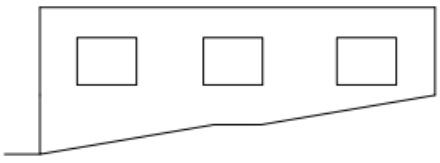


Figura 04. Esquema conforme Norma 9050.

Apesar do constante pedido por uma cobertura na mesma, ainda não foi construído devido à falta de verba federal. O acesso neste local pode se dar através da entrada de veículos até a portaria em dias de chuva.

Em relação ao piso externo, foi empregado o paver com piso tátil, contudo, o piso tátil não vai até a entrada da edificação. A porta de acesso possui a largura do vão livre de 2,50 m e altura de 2,10 m.

Os banheiros na UBS possuem, porta de 0,9 m com abertura para fora, conforme a Norma. Entretanto, apresenta as barras de apoio, mas não de acordo com a normativa, conforme pode ser observado nas (Fig. 05 a 08). O piso interno é cerâmico e é antiderrapante.



Figura 05. Banheiro da UBS.

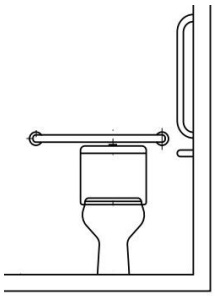


Figura 06. Modelo de acordo com a NBR 9050. Adaptado de ABNT (2015)



Figura 07. Banheiro UBS.



Figura 08. Modelo de acordo com a NBR9050. Adaptado de ABNT (2015)

A escada interna possui dimensão de 1,2 m com faixa antiderrapante, de acordo com a NBR 9050 ABNT (2015). Contudo, apresenta apenas um corrimão, sendo que a normativa solicita corrimão dos dois lados (Fig. 09). Quanto a circulação, possui 2 m de largura, sinalização dos ambientes e piso antiderrapante (Fig. 10 e 11).

Os banheiros na UBS possuem, porta de 0,9 m com abertura para fora, conforme a Norma. Entretanto, apresenta as barras de apoio, mas não de acordo com a normativa, conforme pode ser observado nas figuras 05 e 07. O piso interno é cerâmico e é antiderrapante.



Figura 09. Escada da UBS.

A escada interna possui dimensão de 1,2 m com faixa antiderrapante, de acordo com a NBR 9050 ABNT (2015). Contudo, apresenta apenas um corrimão, sendo que a normativa solicita corrimão dos dois lados (Fig. 10). Quanto a circulação, possui 2 m de largura, sinalização dos ambientes e piso antiderrapante (Fig. 11 e 12).



Figura 10 e 11. Circulação interna UBS.

Em relação à acessibilidade a pessoas idosas, percebeu-se que a UBS teve um olhar preocupado com relação aos pacientes mesmo apresentando algumas irregularidades. Com a entrevista realizada no dia da visita, observamos que os vinte usuários entrevistados estão satisfeitos com o local. Pertencendo a uma faixa etária de 60 a 80 anos de idade. Os gráficos abaixo mostram o nível de satisfação das pessoas.




Figura 12. Gráficos da pesquisa.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entende-se que a NBR9050/2015 abrange, além dos idosos, normativas para todos usuários, e por isso, é mais exigente. No caso do estudo realizado, tendo como foco o idoso, mesmo com alguns aspectos da edificação não estando totalmente de acordo com a norma, a percepção de acessibilidade do usuário idoso é positiva.

A pesquisa apresentada neste trabalho foi realizada procurando evitar conflitos no atendimento aos pacientes. Para uma análise mais detalhada, sugere-se o aumento da população amostral analisada, e a utilização de métodos de avaliação de pós-ocupação, como por exemplo, o mapeamento comportamental, levantamento físico das dimensões.

No local de análise, constatou-se que ainda existem muitas lacunas a serem preenchidas, no sentido do desenvolvimento de estudos e pesquisas que possam repercutir em ações eficazes quanto a acessibilidade na UBS. Percebe-se que está ocorrendo uma expansão no número de atendimentos feitos na Unidade Básica de Saúde e que apesar de todos os esforços feitos pelos órgãos responsáveis para facilitar o atendimento ao púbico idoso, ainda se encontram inúmeras dificuldades financeiras para tornar o sistema ainda melhor para a população.

É de grande importância que o Governo Federal destine verbas para a adequação das estruturas já existentes e crie novas redes de atendimento adequadas à demanda que garantam às pessoas acessibilidade aos serviços e aos estabelecimentos em conformidade com as normas técnicas.

## 7. REFERÊNCIAS

ABATE, T. P.; ONO, R.; ORNSTEIN, S. W. Ética em pesquisa de APO. In: O. de Textos (Org.); **Avaliação pós-ocupação na arquitetura, no urbanismo e no design: da teoria à prática**. p.65–80, 2018. São Paulo.

ABNT, A. B. DE N. T. NBR 9050 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos. , 2015.

AGNELLI, L. B. Avaliação da acessibilidade do idoso em sua residência. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de São Carlos**, 2012.

BORDIGNON, K. K. DE O. Envelhecimento Humano e Contemporaneidade: reflexões sobre a questão da acessibilidade. **Dissertação de Mestrado - Universidade de Passo Fundo**, 2014.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.html>. Acesso em: 16/3/2019.

BRASIL, M. DA S. Secretaria de Atenção Primária à Saúde (SAPS). Disponível em: <http://dab.saude.gov.br/portaldab/smp_como_funciona.php>. Acesso em: 22/3/2019.

BRASIL, M. DO P. UBS - Unidade Básica de Saúde. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/infraestrutura-social-e-urbana/ubs-unidade-basica-de-saude>. Acesso em: 16/3/2019.

COSTA, C. R. S.; BASQUES, I. T. O idoso - mobilidade e acessibilidade urbana. Disponível em: <http://www.portaldoenvelhecimento.com/revista-nova/index.php/revistaportal>. Acesso em: 12/4/2019.

ELY, V. H. M. B.; DORNELES, V. G. Acessibilidade Espacial Do Idoso No Espaço Livre Urbano. , p. 1–8, 2006.

KNOPLOCH, C. Idosos serão um quinto do planeta em 2050, diz OMS. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/saude/idosos-serao-um-quinto-do-planeta-em-2050-diz-oms-17649843>. Acesso em: 31/3/2019.

RHEINGANTZ, P. A.; AZEVEDO, G. A.; BRASILEIRO, A.; ALCANTARA, D.; QUEIROZ, M. Observando a qualidade do lugar: procedimentos para a avaliação pós-ocupação. **Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2009.

RIBEIRO, J. A cultura e a (des)diferenciação do espaço público. IV Congresso português de sociologia. **Anais...** . p.1–14, 2000. Coimbra.

## 8. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# VIGA VAGÃO: ALTERNATIVA ESTRUTURAL PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS ARQUITETÔNICOS

**Marjana Tortelli**
**Renan Scapinello**
Universidade Regional Intergrada do Alto Uruguai e das Missões - URI - Erechim, RS 331, Número 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil
janatortelli@gmail.com, renan.ecv@gmail.com

***Resumo:*** *Com frequência nos deparamos com situações de projeto onde precisamos encontrar soluções para reforços estruturais, ou até mesmo para conseguir vencer grandes vãos sem ter a necessidade de utilizar diversos apoios ao longo desse vão. Se analisarmos pelo ponto de vista arquitetônico, o apelo estético dos projetos é um quesito primordial levado em conta na hora de sua concepção, não sendo interessante muitas vezes a utilização de estruturas robustas, ficando mais coerente a utilização de sistemas estruturais mais esbeltos e que desempenhem da mesma forma sua função em relação aos esforços solicitados. É nesse sentido em que a viga vagão se apresenta como excelente opção de sistema estrutural. Mesmo que pouco conhecida e difundida no meio acadêmico e profissional, a capacidade em se explorar a composição de diferentes materiais e a facilidade em se vencer grandes vãos, além é claro do apelo estético e arquitetônico, fazem das vigas vagão uma excelente opção estrutural em projetos arquitetônicos.*

***Palavras chave:*** *viga vagão, projeto arquitetônico, sistema estrutural.*

## 1. INTRODUÇÃO

As chamadas vigas vagão podem ser utilizadas a fim de se cumprir as mais variadas situações de projetos, consistindo essencialmente de uma viga com montantes e tirantes de aço em sua parte inferior.

Na construção civil apresenta grandes vantagens para a sua aplicação pois é um sistema leve, que não gera sobrecargas nas estruturas como um todo, podendo ser utilizado até mesmo como reforço estrutural. É capaz de vencer grandes vão com seção de viga menor que as utilizadas em sistemas estruturais convencionais, gerando economia de material e ainda por possuir um aspecto estético muito interessante, pode ser explorado pela arquitetura na concepção de projetos inovadores e diferenciados, com grande impacto visual.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Contextualização

Essencialmente, as vigas vagão são formadas por um sistema eficiente de associação, geralmente composto por uma viga retangular ou tubular e um, dois ou mais montantes vinculados à tirantes em aço, fixados nos extremos da peça. A figura 1 exemplifica um esquema clássico de viga vagonada. Essa combinação de viga, montantes e tirantes resulta em um conjunto leve, resistente e rígido.



Figura 1. Esquema de viga vagão com dois montantes (Cunha, 2013).

Santos (2016) descreve que as vigas vagonadas ou vigas vagão, surgiram no final do século XVIII, sendo utilizadas na construção de pontes e viadutos em ferro fundido, sistema inovador para a época. Uma vez que este sistema de vigas se popularizaram quando vinculados a sua utilização em vagões de trens (figura 2) como reforço estrutural das vigas metálicas principais, daí a referência para o nome viga vagão.

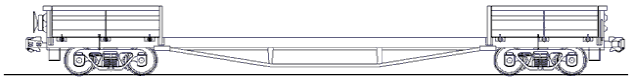


Figura 2. Esquemas de um vagão de trem (Cunha, 2013).

Com o passar do tempo, seu uso ganhou as mais variadas funções, desde reforços estruturais em elementos já executados até na concepção de partidos arquitetônicos inovadores e modernos, agregando muito valor a arquitetura como um todo. Em edificações, essas estruturas tiveram seu início marcado pelo final do século XX, com a chamada arquitetura high-tech. Um dos exemplos mais expressivos de sua utilização se deu nas famosas pirâmides do Museu do Louvre, em Paris, datado em 1989, que teve sua estrutura planejada em elementos de viga vagão e treliças. Pode-se sitar também como um exemplo marcante de sua utilização, as fachadas bioclimáticas do edifício La Villete City for Science and Industry (figura 3), em Paris, datado em 1981 (Cabral *et. al.*, 2012).

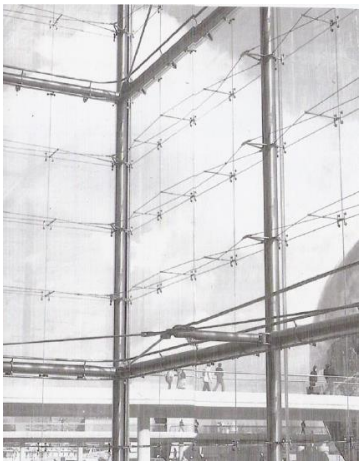


Figura 3. Fachada da La Villete (Brown, 2001 *apud.* Cabral, 2013)

## 2.2 Sistema Estrutural

Gesualdo e Lima (2007) ressaltam o grande potencial que este sistema estrutural oferece na aplicação para vencer grandes vãos com simplicidade, leveza e facilidade construtiva. Rebello e Bogéa (2004) explicam que a própria viga é a responsável pela absorção de todo empuxo horizontal aplicado pelos cabos nos apoios, fazendo com que resulte somente forças verticais ocorrendo um melhor aproveitamento e economia de material devido ao aumento de resistência e a redução de esforços e deslocamentos. Ainda, em relação ao aumento da eficiência do sistema, Gesualdo e Cunha (2009 apud. Cunha e Gesualdo 2016) expõem que a viga vagão tem seus efeitos favoráveis majorados com o aumento do vão livre. Os motivos mais explícitos dessa economia de material, se compararmos às vigas simples e comumente utilizadas, são o fato de que com alturas menores são capazes de vencer vãos maiores, ou ainda, vencer um vão, que pelo sistema convencional, só seria possível com a utilização de diversos apoios ao longo deste.

Quanto a estruturação da vigas vagonadas, podem existir modelos de vigas com um montante central, com dois montantes, ou mais, podendo ser unidirecional e bidirecional conforme demonstra-se nas figuras 4 e 5.Vale ressaltar que segundo Cunha (2013), o sistema com um montante é mais rígido que o sistema com dois montantes, porém é menos econômico, pois se utilizam mais barras e ligações.

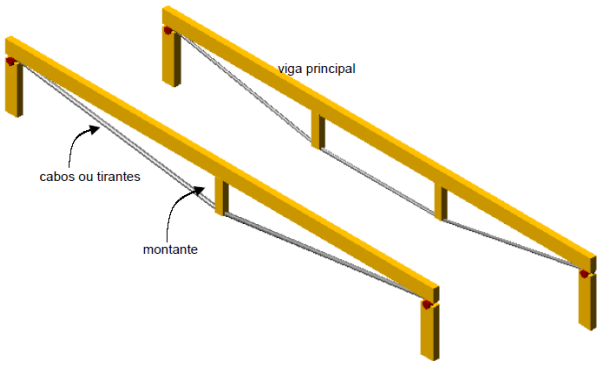



Figura 4. Modelos de viga vagão unidirecional (Gesualdo e Lima, 2007).

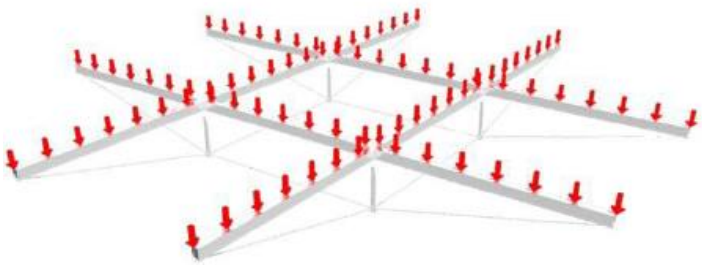


Figura 5. Modelo de viga vagão bidirecional (Projectaço, 2012 *apud.* Cabral, 2012).

O número de montantes a ser utilizado no vagonamento de vigas vai depender do vão e das cargas que estão envolvidas no sistema, ou seja, quanto maior o vão a ser vencido e quanto maior os carregamentos, maior será a quantidade de montantes que deverão ser considerados. Estes, por sua vez, podem ser posicionados de diferentes formas, como mostra a figura 6.

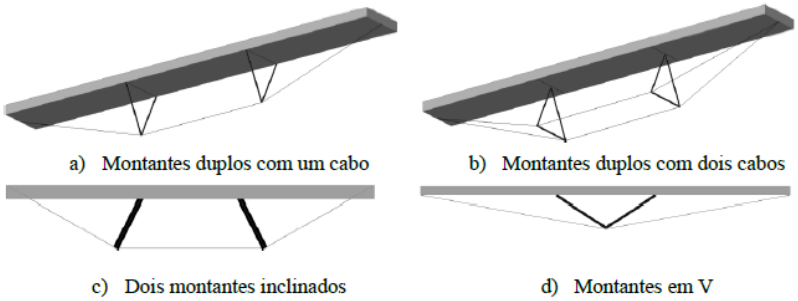



Figura 6. Modelos de posicionamento de montantes (Cunha, 2013).

Para a utilização das vigas vagonadas como sistema estrutural, pode-se fazer o uso da composição de diferentes tipos de materiais, como o concreto, a madeira e aço, por exemplo. A vantagem de se compor esse sistema com madeira dá-se por se tratar de um material leve, natural e renovável, que, segundo Cunha (2013) apresenta excelentes características estruturais por possuir boa relação peso/resistência quando comparado aos demais materiais. Porém, a madeira utilizada deve estar em condições específicas para sua utilização em fins estruturais, Ida e Pletz (2010), em seus estudos, analisaram que as vigas vagonadas em madeira verde com tirantes pré-tensionados, perdiam a protensão e a rigidez ao longo do tempo em maior quantidade que as vigas fabricadas com madeira seca, devido a retração natural da madeira em seu processo de secagem.

Os cabos de aço de uma forma geral, reforçam a viga principal, portanto vigas menores conseguem vencer maiores vãos, isso acarreta em menor peso da estrutura e economia de material, atingindo a mesma resistência, o que torna o sistema como um todo mais eficiente que sistemas convencionais. Para se realizar a fixação dos cabos de aço nas vigas, existem diversas maneiras, dentre elas, Gesualdo e Lima (2007) apresentam como forma mais eficaz o enlaçamento inferior do cabo, conforme figura 7, pois o pino está abaixo da linha neutra, gerando efeito favorável em relação ao momento que é exercido nos extremos das vigas.

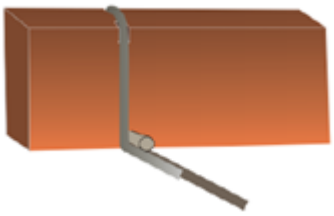


Figura 7. Modos de enlaçamento dos cabos de aço (Cunha, 2013).

### 2.3 Aplicações

Santos (2016) afirma que além de função estrutural, as vigas vagão são utilizadas em partidos arquitetônicos contemporâneos em que se utilizam estruturas com grandes vãos, visto que esse sistema de viga auxilia na estabilidade das estruturas. Outra vantagem da viga vagão apresentada por Charleson (2005 *apud* Cabral *et. al.* 2012) é o grande

potencial de leveza visual e viabilidade econômica. As aplicações são numerosas e diversificadas, podendo ser utilizadas em pontes, fachadas, cobertas, pisos e até em pilares.

As vigas vagão podem ser aplicados como solução para correção de imperfeições em vigas metálicas que possuem grande facilidade de deformação ao longo do tempo e que acabam sendo visíveis a olho nu. Santos (2016) nos apresenta um exemplo dessa aplicação no Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, em Manaus, onde utilizou-se esse sistema para reduzir a deformação por instabilidade lateral nos perfis da pele de vidro. O resultado obtido nessa aplicação foi satisfatório, sendo que a deformação se reduziu a zero e por ser um sistema leve, não houve sobrecargas de peso na estrutura. Neste caso do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, havia a necessidade de se fazer um reforço estrutural, pois os perfis metálicos que estavam deformados estavam apoiados em uma estrutura de concreto em balanço que se encontrava sobrecarregada. Portanto a solução estrutural deveria ser leve, que conseguisse suprir a necessidade, além de desempenhar com eficiência sua função, sem aumentar a sobrecarga da estrutura já existente. A partir dessa premissa, a alternativa de reforço estrutural que mais se encaixava era a utilização do vagonamento das vigas. Outro fator positivo que implicou nessa escolha é que o sistema empregado não iria impedir a visibilidade do pátio de aeronaves.

Os perfis utilizados nesse aeroporto foram perfis soldados, com composição (alma mesa) mais esbelta e com menor peso que outros tipos de perfis comumente utilizados, como consequência dessas suas características, os efeitos de instabilidade lateral ocorrem mais facilmente nesses tipos de perfis, conforme mostra a figura 8.



Figura 8. Perfil com flambagem excessive no Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (Santos, 2016).

Santos (2016) informa que os perfis metálicos do Aeroporto, instalados como sustentação da pele de vidro, sofriam bastante influência devido aos esforços de compressão derivados das cargas de ventos laterais que atuavam no local, gerando instabilidade lateral nas peças. Por haver um vão de 15 metros, as flechas que ocorreram nas vigas tornaram-se visíveis a olho nu. Apesar de não trazer riscos a segurança dos usuários, a sensação gerada por esse aspecto de deformação era de grande desconforto. Assim, foram introduzidos cabos de aço (fixos a montantes) posteriormente tensionados por esticadores, gerando esforços que empurram a viga no sentido oposto a flecha, eliminando-a, conforme apresentado na figura 9.



Figura 9. Estrutura com os cabos e montantes (Santos, 2016).

Cabral *et. al.* (2012) apresentam o caso do projeto da Cobertura Terrase Jardim, onde havia a necessidade de projetar uma estrutura leve para utilização em cobertura e que além desse fator, fosse economicamente viável e tivesse uma estética agradável, visto que se tratava de uma área para eventos. Nesse caso foram utilizadas vigas vagão em sentido unidirecional e com apenas um montante em cada uma, pois o vão era considerado pequeno, com cerca de 10,70

metros. Os perfis que foram empregados nas vigas são formados a frio e recebem as cargas de uma cobertura em policarbonato alveolar translúcida, como apresentado na figura 10.



Figura 10. Estrutura da Cobertura Terrasse Jardim (Projectaço *apud.* Cabral *et. al.* 2012).

Em outro caso, projeto da Cobertura La Tertúlia, Cabral *et. al.* (2012) apresentam uma situação semelhante a anterior, sendo também uma área para eventos. A opção de utilização da viga vagão deu-se pelos mesmos motivos, sendo eles, a leveza, a economia e a estética. Por conta dos vãos e a possibilidade de apoiar todas as extremidades foi optado pelo modelo de vagonamento em duas direções (bidirecional), por ser a opção mais adequada a essas situações. Para o vão menor foi utilizado dois montantes e, para o vao maior foram utilizados três montantes. O vão aproximado desse ambiente é de 18 metros (figura 11).



Figura 11. Estrutura da Cobertura La Tertúlia (Projectaço *apud.* Cabral *et.al.* 2012)

A sede do Sebrae, em Brasília, é um exemplo de aplicação da viga vagão em construções de grande porte, onde o escritório Grupo SP e Luciano Margotto utilizou uma estrutura mista em concreto e aço para compor a cobertura. No projeto há um pátio central com um grande vão de 36 metros e havia a necessidade de receber uma cobertura. Portanto, a utilização de estruturas vagonadas tornou-se a opção mais viável e leve, além de acrescer ao projeto grande qualidade estética, como exemplificado na figura 12.



Figura 12. Cobertura área externa Sebrae (www.archdaily.com.br)

A Casa Grelha, em São Paulo, projetada pelo escritório FGMF é outro belo exemplo da utilização das vigas vagão. A premissa desse projeto era evitar a utilização de vários pilares na parte externa da residência, para uma melhor visão do jardim inferior. A partir disso, a solução encontrada foi a aplicação do sistema de vagonamento de vigas de 11 metros de vão (figura 13).

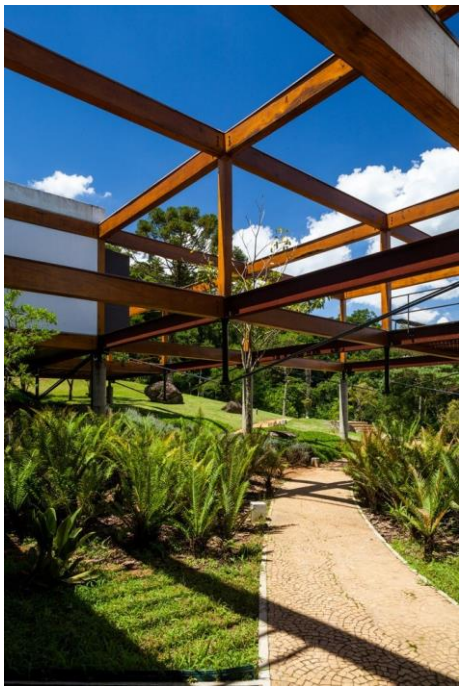


Figura 13. Estrutura da Casa Grelha (www.archdaily.com.br).

O espaço Micasa Vol.C, em São Paulo projetado pelo Studio MK27 permite vários usos, desde lojas, espaço expositivo e residência temporária de artistas. O espaço abrange um vão de 15 metros nos dois sentidos, em que os arquitetos gostariam que ficassem livres, sem apoios de pilares, fazendo com que houvesse uma arquitetura mais limpa, sem muitas interferências e que pudessem transmitir o conceito de se tornar uma "luminária urbana", além de desempenhar bem sua função multiuso e poder abrigar qualquer tipo de equipamentos. Para a solução estrutural, utilizou-se de vigas vagão em madeira laminada colada, consistindo em duas seções de vigas de madeira que escondem os montantes e tirantes que encontram-se dentro da madeira. Esse é um exemplo de como utilizar esse sistema camuflado na própria estrutura, o que auxiliou para execução de uma obra limpa, ágil e rápida (figura 14).



Figura 14. Estrutura do interior do Micasa Vol.C. (www.archdaily.com.br)

O projeto estrutural desse galpão industrial foi feito pela Carpinteria Estruturas de Madeira, que tiveram o grande desafio de vencer os vãos de 15 metros com peças de 50 centímetros de altura que os arquitetos desejavam por questões estéticas e por proporcionalidade. Para conseguir atingir esse objetivo, criou-se uma viga dupla de madeira, com cabos de aço maciços, protendidos, dentro das peças, auxiliando na rigidez e estabilidade da estrutura do projeto. Ao todo foram utilizados na estrutura, 8 pórticos em madeira laminada colada, com vigas duplas e vigas simples encaixadas nos pilares, e essa composição tornou a estrutura junto com a arquitetura um conjunto leve e harmonioso, conseguindo atingir os objetivos e as sensações que os arquitetos pensaram (inicialmente na concepção do projeto) em transmitir aos usuários, como demonstrado na figura 15.

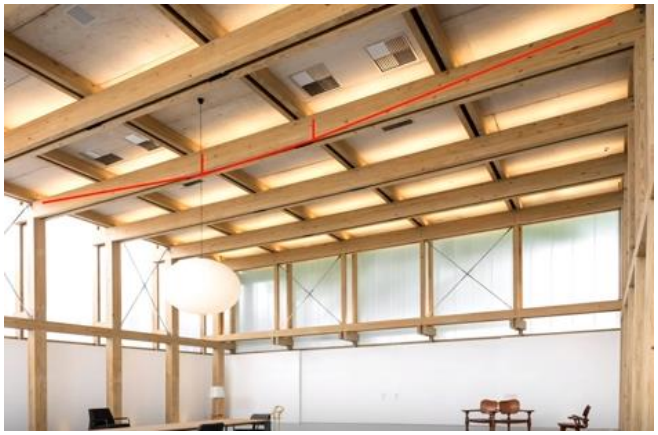


Figura 15. Esquema da estrutura no interior das vigas (www.youtube.com.br)

Nota-se que as aplicações das vigas vagonadas são inúmeras, pode-se citar ainda como exemplos de utilização de seus elementos a Ponte Metro West, em Liffey Valley, Irlanda (figura 16), a cobertura do BCP Alphaville, Barueri, SP, Brasil (figura 17) e ainda a Estação Waterloo, em Londres (figura 18).



Figura 16. Vista da ponte Metro West (concursosdeprojeto.org)



Figura 17. Cobertura BCP Alphaville (fitechnic.com)

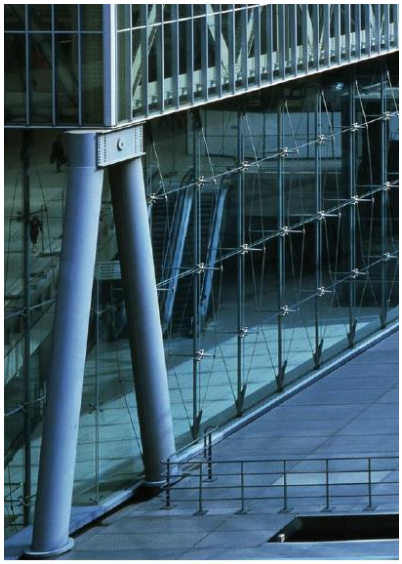


Figura 18. Fachada da Estação Waterllo (www.grimshaw-architects.com *apud.* Cabral, 2012)

### 2.4 Considerações Finais

A partir dos estudos analisados e exemplos apresentados podemos perceber as grandes vantagens de se utilizar esse sistema estrutural em projetos com concepções contemporâneas e principalmente de grande porte, onde sua eficiência se torna mais expressiva. É um sistema leve, devido ao uso dos cabos de aço com protensão, que fazem com que não seja necessário a utilização de vigas com seção maior para vencer o mesmo vão, o que gera maior economia de material e consequentemente menos custo para a obra garantindo a mesma resistência que os sistemas convencinais.

A escolha dos materiais empregados nesse sistema também pode ser favorável em diversos aspectos, como vimos no caso da madeira, por ser um material renovável, além de ser mais leve que os demais, aumentando ainda mais os benefícios da utilização desse sistema. Como apresentado, esse sistema vai além de um reforço estrutural e pode ser utilizado para os mais diversos fins, colaborando muito na questão estética das construções, por ter maior esbeltez que o sistema convencional.

Apesar de todas as vantagens apresentadas nesse estudo, a utilização da viga vagão em projetos arquitetônicos ainda é pouco difundida, pois vemos que geralmente as soluções projetuais e estruturais adotadas são no sistema convencional. Os autores estudados ressaltam esse fator, além de exporem a falta de estudos sobre o vagonamento de vigas, seus dimensionamentos e aplicações, além de não termos no país normas específicas sobre o assunto, o que dificulta o dimensionamento das mesmas.

A falta de conhecimento sobre o tema pode ser um dos fatores primordiais para o não uso em larga escala desse sistema estrutural tão interessante econômica, estética e estruturalmente.

## 3. REFERÊNCIAS

Cabral, S.V.S., Braga, B.H.G., Lima, P.H.A., Cabral, T.O., 2012. "Estruturas vagonadas em aço: concepção, dimensionamento e aplicações". In *Congresso Latinoamericno da Construção Metálica*. Brasil.

Cunha, T.A., 2013. "O sistema estrutural viga-vagão formado por peças retangulares de madeira aplicado como fôrmas e escoramentos". Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Uberlâdia.

Cunha, T.A., Gesualdo, F.A.R., 2016. "Viga vagão com seção transversal retangular de madeira reforçada com barra de aço". *Revista Ambiente Contruído,* Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegra, RS, Brasil.

Gesualdo, F.A.R., Lima, M.C.V. de, 2004. "Vigas de madeira reforçadas com tirantes metálicos". In *Madeira: arquitetura e engenharia, quadrimestral, setembro a dezembro.* ISSN 1806-6097.

Ida, R.M.C., Pletz, E., 2010. "Perda de protensão de vigas armadas de madeira". In *Anais do XIX Encontro Anual de Iniciação Científica.* Guarapuava, PR, Brasil.

Rebello, Y.C.P., Bogéa, M.V., 2004. "Geometria dos elementos estruturais: uma chave para a compreensão do comportamento estrutural". Integração.

Santos, S.A.M.B. dos, 2016. "Vigas vagonadas e a recuperação estrutural". In *Congresso Latinoamericano da Construção Metálica*. São Paulo, SP, Brasil.

Arch Daily, 2019. "Como funcionam as vigas vagão que permitem grandes vãos e peças elegantes". 2 Set. 2019 <http://www.archdaily.com.br/br/905240/como-funcionam-as-vigas-vagao-que-permitem-grandes-vaos-e-pecas-elegantes?ad_source=search&ad_medium=search_result_all>.

Arch Daily, 2019. “micasa vol.C. / Studio MK27”. 2 Set. 2019 <http://www.archdaily.com.br/br/894661/micasa-vo-studio-mk27>.
YouTube, 2019. “[WEBINAR] #2 - MICASA VOL.C - Studio MK27 - Carpinteria”. 2 Set. 2019 <http://www.youtube.com/watch?v=LM56ILMAqZw>.
Concurso de Projetos. “West Bridge - Irlanda - Explorations Architecture+Buro Happold”. 11 Set. 2019 <http://concursosdeprojeto.org/2009/03/15/westbridge-irlanda/>.
Fit Echnic - Glass Fitting System. “bcp alphaville”. 11 Set. 2019 <http://fitechnic.com/projects/bcp-alphaville/>.

## 4. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.
The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# A IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO PÓS - OCUPAÇÃO NOS PROJETOS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

**Marcia Cuiava**
Universidade Regional Integrada – URI – Erechim, RS 331, nº. 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
marciacuiava1@outlook.com

**Carine Scanagatta**
Universidade Regional Integrada – URI – Erechim, RS 331, nº. 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
carine.scanagatta@hotmail.com

**Adriana Paula Daniel**
Universidade Regional Integrada – URI – Erechim, RS 331, nº. 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
apdaniel25@hotmail.com

**Mônica Brändler**
Universidade Regional Integrada – URI – Erechim, RS 331, nº. 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
mony-15@live.com

**Marciane Ziger**
Universidade Regional Integrada – URI – Erechim, RS 331, nº. 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
marcianeziger@hotmail.com

**Sara Roesler**
Universidade Regional Integrada – URI – Erechim, RS 331, nº. 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
sararoesler@uricer.edu.br

*Resumo: Este artigo se concentra em mostrar a realidade, no que diz respeito a tipologia de projeto e funcionalidade, das construções que recebem o subsídio do Programa Minha Casa Minha Vida, tendo como referência o ano de 2018, visto que o mesmo foi lançado no ano de 2009 como o principal programa do Governo Federal para combater o déficit habitacional do país. Tem como objetivo abordar temas relacionados às tipologias dos projetos e suas funcionalidades, que em muitas situações se apresentam de forma repetitiva e não atendem as necessidades e anseios do usuário que habita o local. Percebe-se que uma forma de evitar esses problemas e fazer com que os empreendimentos imobiliários sejam satisfatórios é através da participação do habitante. Sendo assim, busca-se, ressaltar a importância da avaliação pós - ocupação nos projetos do Programa Minha Casa Minha Vida, visando a melhoria na qualidade das habitações e consequentemente a não repetição de erros em projetos futuros.*

***Palavras - chave: Financiamento de construções, tipologias dos projetos, avaliação pós - ocupação, participação do usuário.***

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem presenciado um crescimento socioeconômico contínuo. Esse fato, aliado a uma disponibilidade maior de subsídios públicos para o financiamento de construções deu origem a um dos maiores ciclos de crescimento do setor imobiliário nacional (ROLNIK; KLINK, 2011). Contudo, observa-se que este crescimento deixou a desejar quanto a questões que envolvem a qualidade do projeto, as necessidades e os anseios dos usuários destas moradias e as especificidades e o contexto de cada situação, em virtude do fato de os projetos serem os mesmos há anos. Desse modo, o padrão mínimo de habitação de interesse social que tem sido apresentado, em sua maioria, não é capaz de atender com eficácia as necessidades básicas de seus moradores. Sendo assim, na sequência, investiga-se as características e propostas do Programa Minha Casa Minha Vida, tendo como foco as tipologias dos projetos e sua

funcionalidade, assim como a importância da avaliação pós-ocupação para constatar erros e promover melhorias em projetos futuros.

## 2. O PROGRAMA MINHA CASA, MINHA VIDA

O Programa Minha Casa Minha Vida, lançado em março de 2009, é um programa do governo federal em parceria com estados e municípios. Foi criado com o intuito de reduzir o déficit habitacional do país, estimado em 7,9 milhões de moradias, o correspondente a 21% da população brasileira na época (IBGE, 2008), tendo como intenção criar ações de incentivo à geração e à aquisição de novas unidades habitacionais voltadas para famílias com renda de até dez salários mínimos, as quais se dividem em: famílias com renda até 3 salários mínimos, famílias com renda de 3 a 6 salários mínimos e famílias com renda de 6 a 10 salários mínimos.

Segundo os dados oficiais, em sua primeira fase foram construídas um milhão de moradias. Já em 2011, iniciou-se a segunda fase do Programa Minha Casa Minha Vida, como uma parte do Programa de Aceleração de Crescimento. Nessa etapa, a meta era entregar mais de 2 milhões de novas unidades habitacionais. E por fim, a terceira fase do Programa Minha Casa Minha Vida, iniciou em 2016 e deve terminar em 2018 entregando mais de 4,6 milhões de novas unidades até o final desta etapa (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2012).

O Programa Minha Casa Minha Vida, tem gerado um impacto considerável na infraestrutura econômica, social e urbana do nosso país. Neste sentido, ressalta-se a importância do acompanhamento constante de seus resultados através de pesquisas de avaliação pós-ocupação (APO), de modo a aprimorar a sua execução e, com isto, alcançar a promoção do desenvolvimento com igualdade, reconhecendo o papel do Estado, das políticas públicas e do planejamento.

### 2.1 Repetição de tipologias tripartidas

Villa; Saramago e Garcia, (2015) destacam que apesar de caminharmos em direção a uma diminuição da demanda habitacional do país, poucos incrementos estão sendo observados no quesito qualidade do ambiente construído. Isso porque tais estudos apontam para as frequentes modificações realizadas pelos moradores com o intuito de melhor acomodar as famílias beneficiadas pelo Programa.

Uma provável justificativa para tanto se refere à repetição de tipologias tripartidas (em setores social, íntimo e de serviços), concebidas para as famílias burguesas nucleares (compostas por pai, mãe e filhos) de meados do século XVIII (TRAMONTANO, 1995). Desde sua concepção, é entendido que tal organização espacial demanda espaço para funcionar plenamente, de maneira que as referidas áreas não se confundam, ou gerem problemas funcionais na moradia. Nesse sentido, o modelo tripartido pode ser considerado eficiente para habitações destinadas às classes média e alta, que dispõem de recursos financeiros e espaciais para a compartimentação dos espaços. Já no caso das habitações de interesse social (HIS), em função de suas características próprias, como a redução dimensional, a tripartição dos espaços comprometem sua funcionalidade (VILLA *et al*, 2013).

Entretanto, o desenho dessas habitações permanece praticamente o mesmo há décadas, apenas com variações de cunho construtivo, sem que, contudo, a função e a articulação dos espaços de habitar sejam questionadas. O Programa Minha Casa Minha Vida, estabelece inclusive um programa mínimo (sala, dois quartos, banheiro, cozinha e área de serviço) e um nível de acabamento único para aquelas moradias classificadas como Habitação de Interesse Social (HIS), sendo que todas essas demandas devem ser comportadas em unidades cuja área útil mínima varia de 32 m² (unidade térrea, não computada a área de serviço) a 37 m² (para apartamentos) (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2012). A figura 01 ilustra a divisão de um modelo de habitação segundo a lógica tripartida em: área social (sala de estar e sala de jantar), íntima (quartos e banheiro) e de serviços (cozinha e área de serviços).

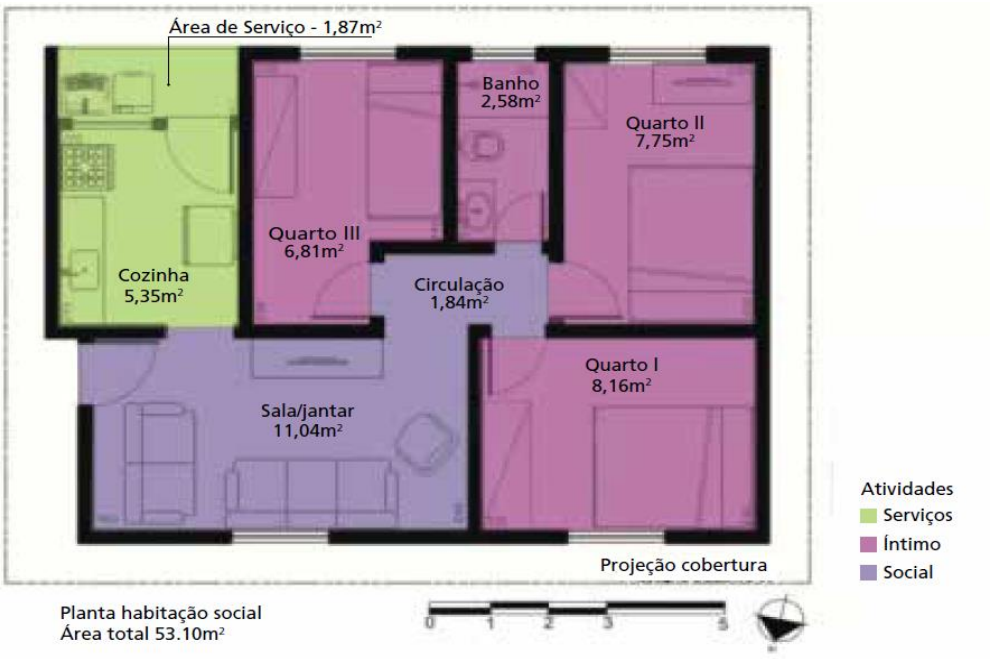



**Figura 01** – Exemplo de tripartição em habitação térrea. Fonte: Villa et al, (2013).

Contudo, várias são as transformações pelas quais passou a sociedade brasileira, tais como: a inserção da mulher no mercado de trabalho, com a consequente alteração de papéis sociais; o aparecimento de diferentes formações familiares, não tradicionais (a exemplo de pessoas vivendo sozinhas e de casais sem filhos); e a introdução de tecnologias e equipamentos inovadores no ambiente residencial, levando ao surgimento de outras modalidades de lazer doméstico, as transformações nas noções de privacidade e de individualidade e à transferência de atividades laborais para os espaços de moradia (BRANDÃO; HEINECK, 2003; FOLZ, 2003). Portanto, a manutenção de uma mesma tipologia para diferentes perfis familiares dificulta o atendimento às demandas de seus usuários.

Esta inadequação das habitações também ocorre em função da insuficiência dos espaços em comportar até mesmo as demandas tradicionais, gerando uma sobreposição de atividades em determinados ambientes (RIFRANO, 2006, p. 57). Tal sobreposição pode ser observada na figura 02, que ilustra a ocorrência de diferentes atividades em um mesmo cômodo da unidade apresentada na figura anterior.




**Figura 02** - Sobreposição de usos em unidade residencial. Fonte: Villa et al, (2013).

Além disso, Villa; Saramago e Garcia, (2015) enfatizam outro problema corrente nessas tipologias, que diz respeito ao fato de que os prédios são usualmente implantados muito próximos uns dos outros, comprometendo a privacidade entre os apartamentos. Tal falta de privacidade é um problema visível ainda nos apartamentos térreos, os quais, em geral, possuem janelas no mesmo nível em que as pessoas circulam.

Outro aspecto a ser considerado, é que ao manter um padrão de implantação de unidades térreas ou de edifícios verticais em lotes localizados em áreas distantes, exige-se a criação de uma série de infraestruturas (vias de ligação, transporte coletivo, equipamentos educacionais e de saúde, entre outras) – nem sempre efetivamente consolidadas após a entrega das unidades habitacionais (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2015).

Como consequência, a ausência de equipamentos coletivos e de espaços verdes, somada à escassez de oportunidades econômicas e culturais, geralmente observadas nesses conjuntos habitacionais, dificulta a apropriação do lugar por parte de seus usuários. Tal apropriação é prejudicada ainda pela monotonia estética dos conjuntos edificados (Figura 03), (Figura 04), compostos por uma repetição de unidades de baixa qualidade arquitetônica (FORMOSO; LEITE; MIRON, 2011). Sendo assim, a monotonia e a repetição dos desenhos não respeitam a individualidade do usuário.



**Figura 03** - Modelo urbanístico de implantação frequentemente adotado para HIS, localizado na cidade de Erechim/RS. (Fotos autorais).



**Figura 04** - Modelo urbanístico de implantação frequentemente adotado para HIS, localizado na cidade de Erechim/RS. (Fotos autorais).

## 3. A IMPORTÂNCIA DA APO

O conceito de qualidade depende dos agentes e seus interesses, que podem variar com o tempo e em muitos casos com o uso da habitação, pois aspectos como habitabilidade, flexibilidade ou mesmo adaptabilidade espacial e/ou tecnológica podem não ser observados por falta de parâmetros ou capacidade técnica dos clientes (FABRÍCIO; ORNSTEIN; MELHADO, 2010).

A qualidade técnica de uma habitação considera atributos tais como os materiais empregados, técnicas construtivas e seus respectivos desempenhos, satisfação das necessidades sociais, do bem-estar e da qualidade de vida do ser humano em relação à sua moradia. Na busca desta satisfação, podemos destacar a associação da qualidade do produto final ao conceito de bem-estar social, destacando a participação do usuário como elemento essencial na produção de empreendimentos imobiliários satisfatórios (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2016).

Saber como se comporta efetivamente o usuário no ambiente construído deveria ser uma prática corrente entre os diversos agentes deste mercado em diferentes esferas (pública, institucional, privada, corporativa, entre outras). Assim, a Avaliação Pós-Ocupação (APO) pode ser caracterizada pelo conjunto de métodos e técnicas que incluem avaliações físicas de desempenho, formuladas em sistemas construtivos, conforto ambiental, funcionalidade, entre outros aspectos, opiniões ou níveis de satisfação dos usuários e análises das relações do ambiente construído versus comportamento humano.

Desta forma, a APO é um instrumento de avaliação muito importante para que possam ser constatados os erros e melhorias a serem feitas nos projetos e possibilitar adequações eficientes rumo a uma maior qualidade das construções e das cidades (VILLA; SARAMAGO; GARCIA, 2016). Entretanto, a avaliação de programas sociais ainda é pouco utilizada no cotidiano da administração pública brasileira, e, durante anos, a produção de conhecimento técnico esteve mais voltada para a formulação do que para a implementação e avaliação (COSTA; CASTANHAR, 2003; COTTA, 1998).

Villarosa e Abiko (s.d.) destacam que o processo de avaliação deve conter elementos de participação dos atores envolvidos no projeto, inclusive dos beneficiários. Por outro lado, ao atentar-se para a figura dos beneficiários, nota-se que são poucos os momentos em que clientes finais participam do processo de avaliação dos programas sociais. A falta de conhecimento sobre as percepções, necessidades e valores do seu público alvo diminui a possibilidade de elaboração de programas mais adequados à sua clientela (REIS, 2013). Desse modo, suas necessidades tendem a não ser capturadas e convertidas em requisitos, os quais, em consequência, não são adequadamente consideradas pela equipe de projeto (LIMA; FORMOSO; ESCHEVESTE, 2011).

Assim, o processo de avaliação se faz necessário frente às ações governamentais. Cohen e Franco (2008, p.77) definem avaliação como uma atividade que tem o objetivo de maximizar a eficácia dos programas na obtenção de seus fins e a eficiência na alocação de recursos para a consecução dos mesmos.

Por isso, a APO é apresentada como um conjunto de métodos e técnicas de avaliação de desempenho, aplicado a qualquer tipo de ambiente construído (por exemplo: empreendimentos habitacionais, escolas, hospitais e parques), visando medir e diagnosticar, levando em conta os especialistas e os níveis de satisfação dos usuários desses ambientes. Nela são demonstrados os erros e os acertos do ambiente construído, alimentando intervenções, melhorias e programas de manutenção e também realimentando de diretrizes para futuros projetos (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003). Segundo Ornstein (1992), essa metodologia se difere das demais por considerar questões relativas ao projeto e à construção, além de priorizar aspectos de uso, operação e manutenção, essencialmente do ponto de vista do usuário.

A partir de fatores técnicos, funcionais, econômicos e comportamentais, a APO busca diagnosticar os aspectos positivos e negativos do ambiente construído. No caso do diagnóstico de fatores positivos, estes devem ser cadastrados e recomendados para futuros projetos semelhantes. No caso dos fatores negativos, recomenda-se: (1) minimizar ou mesmo corrigir os problemas detectados por meio de programas de conscientização e de manutenção dos usuários, visando à conservação do ambiente e (2) utilizar os resultados do estudo para otimizar o desenvolvimento de futuros projetos semelhantes (ORNSTEIN, 1992).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de passados nove anos desde o surgimento do Programa Minha Casa Minha Vida, foi possível verificar que as configurações dos projetos permanecem as mesmas, haja visto que as necessidades e os anseios dos usuários comumente não são atendidos e que o padrão mínimo de habitação de interesse social sequer é capaz de atender com eficácia às necessidades básicas.

O modelo atual de família brasileira já não comporta o layout proposto para as habitações do programa, levando os usuários a fazerem intervenções para adequar o projeto às suas necessidades, o que muitas vezes traz como consequência construções irregulares, que podem gerar riscos aos habitantes destas moradias, pois na maioria dos casos não há acompanhamento de engenheiros ou pessoas qualificadas,e muitas vezes mesmo após estas intervenções ilegais ainda assim as habitações não apresentam boas condições de habitabilidade.

Desta forma, para sanar estes problemas têm-se utilizado as pesquisas de Avaliação Pós- Ocupação, que apontam os erros e melhorias a serem realizados no Programa, bem como as qualidades que precisam ser mantidas. Nos casos onde a avaliação teve resultados positivos o projeto é cadastrado e serve como referência para futuros projetos, e em situações onde a avaliação teve resultados negativos os erros devem ser corrigidos e servem como base para evitar os mesmos problemas nos próximos projetos.

Sendo assim, destacamos a importância da integral participação do usuário no processo de criação do Projeto, para que o profissional consiga entender exatamente quais são as necessidades do cliente e garantir maior satisfação dos resultados finais, criando habitações funcionais que proporcionam melhor qualidade de vida aos usuários.

## 5. REFERÊNCIAS

BRANDÃO, D. Q.; HEINECK, L. F. M. **Significado multidimensional e dinâmico do morar: compreendendo as modificações na fase de uso e propondo flexibilidade nas habitações sociais.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 35-48, out./dez. 2003.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Demanda habitacional no Brasil. Brasília:** Caixa, 2012.

COHEN, E.; FRANCO, R. **Avaliação de projetos sociais. Petrópolis,** TJ: Vozes, 2008.

COSTA, F. L.; CASTANHAR, J. C. **Avaliação de programas públicos: desafios conceituais e metodológicos.** Rio de Janeiro: Revista de Administração Pública, v. 37, n. 5, 2003.

COTTA, T. C. **Metodologias de avaliação de programas e projetos sociais: análise de resultados e de impactos.** Revista do Serviço Público, Ano 49, n. 2, p. 103-124, 1998.

FABRÍCIO, M. M.; ORNSTEIN, S. W.; MELHADO, S. B. **Conceitos de qualidade no projeto de edifícios.** In: FABRÍCIO, M. M.; ORNSTEIN, S. W (Org.). **Qualidade no projeto de edifícios**. São Paulo: Rima Editora, ANTAC, 2010.

FOLZ, R. **Mobiliário na habitação popular: discussões de alternativas para melhoria da habitabilidade.** São Carlos: Rima, 2003.

FORMOSO, C.; LEITE, F. L.; MIRON, L. I. G**. Client requirements management in social housing: case study on the residential leasing program in Brazil.** Journal of Construction in Developing Countries, v. 16, n. 2, p. 47-67, 2011.

LIMA, L.P.; FORMOSO, C.T.; ESCHEVESTE, M.E.S. **Proposta de um protocolo para o processamento de requisitos do cliente em empreendimentos habitacionais de interesse social.** Porto Alegre: Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 21-37, 2011.

MOREIRA, Vinicius de Souza; SILVEIRA, Suely de Fátima Ramos; REIS, Francimar Natália Silva Cruz. **Programa minha casa, minha vida: a percepção dos beneficiários como instrumento para avaliação.** Revista Politicas Públicas & Cidades, Viçosa, v. 2, n. 1, p.1-24, abr. 2015.

ORNSTEIN, S. (1992) **Avaliação pós-ocupação (APO) do ambiente construído.** Marcelo Roméro (colaborador). São Paulo: Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo, 223 p.

REIS, F.N.S.C. **Programa Minha Casa, Minha Vida: Estrutura Lógica, Focalização e Percepção dos Beneficiários.** Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Administração e Contabilidade, Viçosa-MG, 2013.

RIFRANO, L. **Avaliação de projetos habitacionais: determinando a funcionalidade da moradia habitacional.** São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

ROLNIK, R.; KLINK, J. **Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: por que nossas cidades continuam tão precárias?** Novos Estudos, São Paulo, v. 89, p. 89-109, mar. 2011.

ROMÉRO, M. D. A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós-Ocupação: métodos e técnicas aplicadas à Habitação Social.** (Coleção Habitare). Porto Alegre: Antac, 2003.

SILVA, R. D.; SILVA, B. F. **O Programa Habitacional Minha Casa Minha Vida: uma avaliação através do caso do Conjunto Albino Meneguetti em Maringá** – PR. In: X SEMINARIO INVESTIGACIÓN URBANA Y REGIONAL, 10., 2012, Bogotá**.** Bogotá: Iesalc, 2012. p. 1 - 12.

SCHÄFER, Eduardo Francisco; GOMIDE, Fernanda Paes de Barros. **Avaliação Pós-Ocupação do conjunto habitacional Moradias União Ferroviária Bolsão Audi/União**, Curitiba (PR). Scielo. Curitiba, p. 1-24. out. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522014000200155#aff1>. Acesso em: 17 nov. 2018.

TRAMONTANO, M. **O espaço da habitação social no Brasil: possíveis critérios de um necessário redesenho.** In: SEMINÁRIO DE ARQUITETURA LATINO-AMERICANO, 7.,1995, São Carlos, São Paulo. Anais... São Carlos: USP, 1995.

VILLA, S. B. et al. **A ineficiência de um modelo de morar mínimo – análise pós-ocupacional em habitação de interesse social em Uberlândia.** Observatorium, Uberlândia, v. 5, n. 14, p. 121-147, out. 2013.

VILLA, S. B.; SARAMAGO, R. C. P.; GARCIA, L. C. **Avaliação pós-ocupação no programa Minha Casa Minha Vida: uma experiência metodológica.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, PROEX, 2015.

VILLA, S. B.; SARAMAGO, R. C. P.; GARCIA, L. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação Pós-Ocupação em Unidades Habitacionais na Cidade de Uberlândia, Pertencentes à Primeira Fase do MCMV, Enfocando Aspectos Funcionais, Comportamentais e Ambientais.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2015.

VILLAROSA, F.; ABIKO, A. **Monitoramento e avaliação de programas de ação integrada em assentamentos precários.** Disponível em: <http://alexabikoo.pcc.usp.br/Apostila_11.pdf.>. Acesso em: 17 nov de 2018.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# BIBLIOTECA PARQUE: SUBSÍDIOS PARA UMA PROPOSTA PROJETUAL

**Adriana Paula Daniel**
**Vanessa Tibola da Rocha**
**Natalia Nakadomari Bula**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
apdaniel25@hotmail.com
vanessarocha@uricer.edu.br
nataliabula@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Este artigo apresenta o conceito de biblioteca parque, que se difere das bibliotecas tradicionais por sua abrangência programática, que tenta acompanhar os desafios da sociedade informacional. Ressalta-se a importância das bibliotecas como forma de democratização do conhecimento e a necessidade de que as bibliotecas, especialmente as públicas, se reinventem e repensem os seus espaços para atrair visitantes, leitores e melhorar a qualidade de vida da sociedade contemporânea. Na cidade de Erechim, como na grande maioria das cidades nacionais, há carência de espaços arquitetônicos de conhecimento e cultura que estimulem o lazer, integração e socialização. O objetivo deste artigo é descrever uma análise sobre três estudos de caso utilizados como referenciais para o Trabalho Final de Graduação (TFG), que propõe um anteprojeto arquitetônico de uma biblioteca parque para a cidade de Erechim/RS. A metodologia do artigo é de caráter descritivo, baseada na análise de dados secundários qualitativos previamente selecionados por revisão da literatura.*

***Palavras-chave:*** *Biblioteca Parque, Requalificação Urbana, Democratização do Conhecimento, Estudos de Caso.*

## 1. INTRODUÇÃO

As bibliotecas são reconhecidas como espaços de conhecimento desde seu surgimento, e essa noção por parte da população tem aumentado consideravelmente ao longo do tempo. O fato é que as bibliotecas enfrentam grandes desafios na atualidade, e isso se deve às transformações sociais, culturais, científicas e tecnológicas pelas quais a sociedade vem passando. Por sua vez, essas transformações causam impacto nas estratégias de ação, mediação da informação, objetivos dos serviços prestados e finalidades dos produtos a serem moldados aos diferentes públicos no ambiente de uma biblioteca.

De acordo com Milanesi (1983), as bibliotecas existentes não cumprem com o papel que poderia se esperar delas. Cabe aos municípios aplicar recursos para a manutenção e o desenvolvimento destes locais, porém se sabe que estes investimentos são insuficientes. Se avaliarmos a situação em que muitas se encontram, pode-se dizer que não se aplica muito nesse setor, sempre encarado como supérfluo quando comparado a outros problemas como saneamento básico, água, estradas etc. Segundo o autor, além da precariedade das bibliotecas, as mesmas ainda possuem uma procura abaixo de suas possibilidades de atendimento. É mínima a parcela da população que frequenta bibliotecas. Com relação aos espaços destinados para instalação das mesmas, geralmente são precários e se resumem basicamente em dois ambientes: o depósito de livros e o local de leitura, além de salas secundárias (Milanesi, 1983).

As bibliotecas públicas têm como principal objetivo disponibilizar recursos e serviços de formas variadas, de modo a atender as necessidades da coletividade, naquilo que diz respeito a educação, informação e desenvolvimento pessoal, bem como recreação e lazer. Atuam no desenvolvimento e manutenção de uma sociedade democrática, uma vez que oferece um vasto campo de conhecimento, ideias e opiniões a partir da disseminação da informação. Além disso, representam o ponto central de desenvolvimento cultural e artístico da comunidade, ajudando a criar uma identidade para a cidade ou ainda um espaço público de encontro.

Dessa forma, a partir dos problemas e desafios identificados e tendo em vista as possibilidades e potencialidades da criação de espaços públicos, o tema da Biblioteca Parque surge como uma forma de oferecer cultura, conhecimento e aproximação com a natureza, espaço de diálogo e exercício da cidadania, possibilitando acesso a todos e contribuindo para a identificação do papel das Bibliotecas na sociedade atual.

Valorizar a criação de espaços públicos para o uso coletivo é fator determinante para o desenvolvimento das cidades. Assim, o objetivo deste artigo é descrever uma análise crítica sobre três estudos de caso utilizados como referenciais para o estudo.

## 2. MÉTODO

Os estudos de caso são referências projetuais normalmente utilizadas como inspiração no processo de concepção de projetos arquitetônicos, ou ainda como forma de encontrar respostas para resolver determinado problema. Esquematizando os passos da pesquisa e os dados levantados, apresenta-se as análises dos estudos de caso a partir do tema proposto em etapas conforme Figura 1.

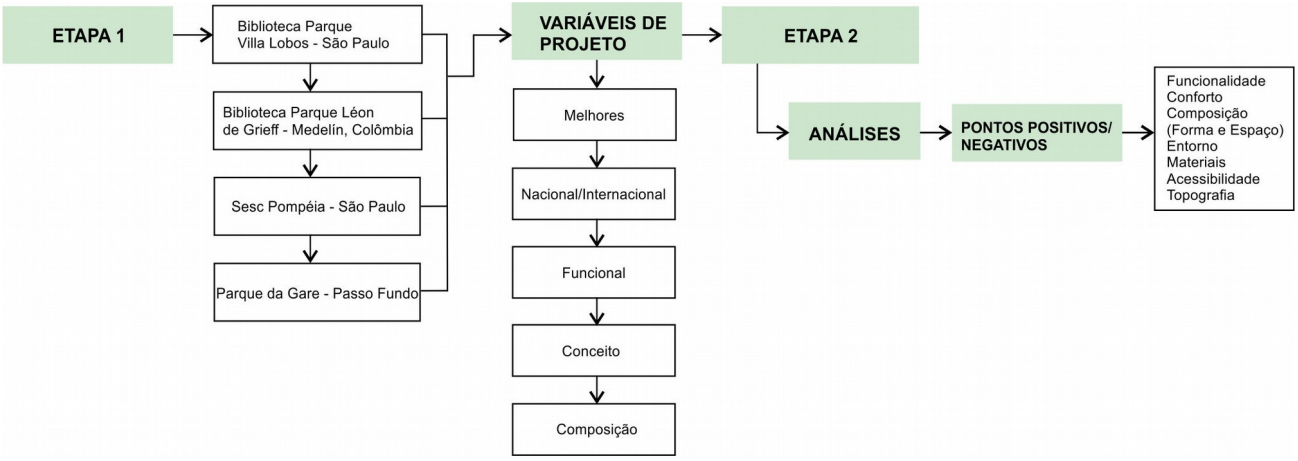



Figura 1. Esquema metodológico.
Fonte: Autores, 2019.

A Etapa 1 consistiu na seleção dos estudos de caso, onde foram utilizados os seguintes critérios: correlação com o tema (programa de necessidades), exemplar com reconhecimento na área de arquitetura e urbanismo, sejam nacionais ou internacionais, e que tenham qualidades conceituais, compositivas e funcionais.

Por ser um conceito relativamente novo, ainda não se encontram muitas bibliotecas parques para serem estudadas, por isso, a escolha da Biblioteca Parque León de Grieff se dá principalmente por sua importância no surgimento do conceito de Biblioteca Parque e seu impacto positivo na comunidade em que foi inserida. Já a Biblioteca Parque Villa Lobos por seu contexto nacional e correlação programática com o tema do Trabalho Final de Graduação do qual este estudo faz parte. E por fim, o SESC Pompéia por ser uma obra consagrada nacionalmente por sua composição e diversidade programática que atende às necessidades artísticas, culturais e educativas no bairro em que se insere, aproximando-se assim do conceito de Biblioteca Parque, além de ter sido visitado pessoalmente, enriquecendo a análise.

A Etapa 2 consistiu no levantamento de pontos positivos e negativos de cada estudo de caso para o contexto da proposta projetual. Os aspectos a serem analisados foram obtidos através de um *brainstorming* desenvolvido entre os alunos do nono semestre do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Regional Integrada, Câmpus de Erechim, sendo que foram selecionadas as categorias mais recorrentes nos autores de análise como Hertzberger (1999), Ching (2013) e Unwin (2013). Desta forma, as categorias para análise dos estudos de caso utilizadas neste estudo são: funcionalidade, conforto ambiental, composição (forma e espaço), entorno, materiais, acessibilidade e topografia.

## 3. ESTUDOS DE CASO

A seguir, são apresentados os três estudos de caso selecionados através de uma análise detalhada de obras arquitetônicas, conforme identificado no esquema acima, sendo que as variáveis de projeto foram o ponto de partida para o desenvolvimento deste trabalho.

### 3.1 Biblioteca Parque Léon de Grieff

A Biblioteca Parque Léon de Grieff foi inaugurada no ano de 2007, também conhecida como La Ladera está localizada no centro de Medellín, na Colômbia. Com uma área construída de 4.191,00 m², em um parque de 37.546,72 m², o principal objetivo da construção foi estabelecer um projeto que permitisse maior conectividade urbana e o desenvolvimento de espaços públicos, levando os livros para perto das chamadas zonas de risco, para os pobres e marginalizados. Nesse sentido, a biblioteca parque tem um conceito mais amplo do que o tradicional, vai além de ter um acervo literário e de oferecer empréstimos de livros, é também um espaço de cultura e lazer (Grupo a educação, 2013).

### 3.2 Biblioteca Parque Villa-Lobos

A Biblioteca Parque Villa-Lobos foi inaugurada no ano de 2014 e ocupa uma área de 4 mil metros quadrados dentro do Parque Villa-Lobos, zona oeste da cidade de São Paulo. Além de oferecer livros para empréstimo e ambientes para estudo, como toda biblioteca, é também uma experiência diferente em leitura, lazer, aprendizado e diversão. A proposta de atividades integradas com a leitura, foram o ponto de partida para o projeto, evidenciando assim o caráter multidisciplinar (Haus, 2018).

### 3.3 SESC Pompéia

Localizado na Zona Oeste da cidade de São Paulo, com uma área de 23.571 m², o SESC Pompéia ocupa desde de 1986, o edifício que pertencia a antiga fábrica de tambores Pompéia. Caracterizado pela brutalidade dos blocos de concreto, o prédio é considerado um marco da arquitetura brasileira por seus valores técnicos e estéticos. O novo centro deveria proporcionar convivência entre as pessoas, como fórmula infalível de produção cultural, incentivando o esporte recreativo. Assim, ideia era reforçar e fomentar a recreação e o esporte (Ferraz, 2008).

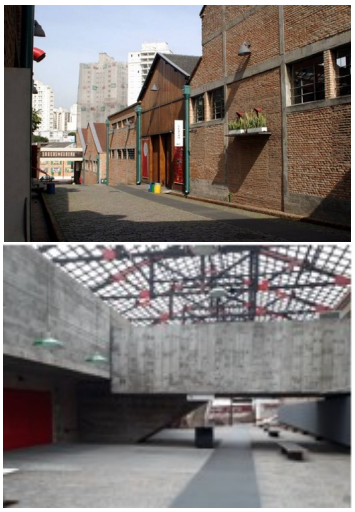
## 4. RESULTADOS DAS ANÁLISES

As obras selecionadas foram analisadas de acordo com cada uma das categorias elencadas anteriormente no método. A seguir apresenta-se breve descrição das categorias e uma síntese dos resultados da análise.

### 4.1 Funcionalidade

A funcionalidade (Quadro 1) é a adequação das edificações frente ao programa arquitetônico estabelecido, setorizando os espaços e reduzindo conflitos de atividades e fluxos.

Quadro 1. Síntese da análise de funcionalidade.

| Biblioteca Parque Léon de Grieff | Biblioteca Parque Villa Lobos | Sesc Pompéia |
|---|---|---|
| - Os edifícios são conectados por um deck curvo, permitindo flexibilidade e transição entre os espaços.<br>- Cada unidade de uso pode ser aberta ou fechada de acordo com seu horário de funcionamento, desta forma o edifício pode conter diferentes atividades com um único acesso. | - O acesso principal acontece no pavimento térreo, área dedicada a atender o público infantil.<br>- A Oca representa a centralidade do espaço, com atividades realizadas para as crianças.<br>- No primeiro e segundo pavimento é atendido o público adulto. Funciona como mezanino, possibilitando a sensação de amplitude e integração dos espaços. | - O principal conceito está relacionado à formulação de soluções espaciais de acessibilidade que contemplasse e criasse interesse às diversas faixas etárias e às diversas classes sociais, sem discriminação. |
|  |  |  |
| Fonte: Mazzanti, 2009. | Fonte: Haus, 2018. | Fonte: Fracalossi, 2013. |

Fonte: Autores, 2019.

### 4.2 Conforto ambiental

O conforto ambiental (Quadro 2) está relacionado ao tratamento visual, higrotérmico e acústico dos ambientes, mas também deve atender aos aspectos culturais promovendo inclusão e qualidade de vida a todos.

Quadro 2. Síntese da análise de conforto ambiental.

| Biblioteca Parque Léon de Grieff | Biblioteca Parque Villa Lobos | Sesc Pompéia |
|---|---|---|
| - Os telhados do edifício foram propostos como espaço público, para acesso livre aos visitantes, funcionando como um mirante com visuais para a cidade.<br>- As fachadas são compostas por brises verticais e painéis de vidro na cor vermelha para minimizar a incidência solar no interior do edifício.<br>- Aproveitamento das condições ambientais e do clima, com sistemas de circulação de ar cruzado. Foi utilizado sistema de refrigeração natural, uma vez que a construção se encontra abaixo do nível do solo. | - Parte do térreo é ocupada por praça circular que conta com uma estrutura com "pétalas" semitransparentes que filtram a luz solar direta. Sob ela, uma oca de madeira funciona como mobiliário em grande escala, com piso de tatame, almofadas e pufes.<br>- O espaço conta com salas de criatividade; sala de jogos eletrônicos, interativos e de tabuleiro; espaço para os visitantes lerem com tranquilidade; computadores com acesso à internet; e café/bar, no deck, com vista para o parque. | - O espaço conta com uma rua aberta e convidativa, os espaços de exposições, o restaurante público com mesas coletivas.<br>- As atividades a céu aberto, o *deck* de madeira no verão, tudo fez do SESC Pompéia um sonho possível de vida cidadã. |
|  Fonte: Mazzanti, 2008. |  Fonte: Haus, 2018. |  Fonte: Fracalossi, 2013. |

Fonte: Autores, 2019.

### 4.3 Composição (forma e espaço)

A composição da arquitetura (Quadro 3) é a resultante de várias decisões projetuais, que envolve forma, materiais, distribuição espacial, entre outros aspectos encontrados em autores como Ching (2013).

Quadro 3. Síntese da análise de composição (forma e espaço).

| Biblioteca Parque Léon de Grieff | Biblioteca Parque Villa Lobos | Sesc Pompéia |
|---|---|---|
| - A proposta foi organizada em três edifícios em concreto armado aparente, com forma retangular, conectados entre si.<br>- Trata-se de uma construção com um sistema estrutural tradicional, onde cada módulo é estruturalmente independente. | - Trata-se de uma arquitetura moderna composta por um pavilhão de concreto, aço e vidro.<br>- A construção caracteriza-se pelo uso do concreto aparente, criando pórticos interligados a uma grelha na fachada.<br>- Internamente, os grandes vãos, de pé-direito duplo, e grandes aberturas protegidas por esquadrias com vidros transparentes criam ambientes iluminados. | - Três volumes prismáticos de concreto aparente foram construídos ao lado dos galpões da antiga fábrica de tambores da Pompéia: um prisma retangular; um segundo prisma retangular, menor e mais alto que o primeiro e um cilindro de oito metros de diâmetro e setenta metros de altura. |


Fonte: Mazzanti, 2008.


Fonte: Haus, 2018.


Fonte: Fracalossi, 2013.

Fonte: Autores, 2019.

### 4.4 Entorno

O contexto do entorno (Quadro 4) das edificações é muito importante para a implantação de um equipamento público, não apenas em relação à sua forma e gabarito de altura, mas também ao uso e ocupação do solo, acessos, disponibilidade de recursos naturais e preexistências históricas, conforme Unwin (2013).

Quadro 4. Síntese da análise do entorno.

| Biblioteca Parque Léon de Grieff | Biblioteca Parque Villa Lobos | Sesc Pompéia |
|---|---|---|
| - Está localizada em uma grande área pública utilizada para a prática de atividades esportivas.<br>- O edifício, através de seu mirante, funciona como uma extensão do espaço público existente.<br>- O acesso acontece através da via pública, onde o usuário é conduzido até a passarela que liga um bloco ao outro. | - O parque Villa Lobos conta com áreas de bosque, quadras com campo de futebol, playground, pista de caminhada, área para adestramento de cães e aparelhos de ginástica.<br>- Ainda são encontrados no local, um orquidário e um espaço para apresentações musicais. | - A estrutura do prédio da antiga fábrica de tambores se dilui com o entorno formado basicamente por construções residenciais com o mesmo gabarito de altura.<br>- Poucas estruturas se assemelham aos três volumes prismáticos projetados por Lina Bo Bardi. |

Fonte: Autores, 2019.

### 4.5 Materiais

A escolha dos materiais (Quadro 5) relaciona-se desde a intenção espacial dos espaços para definir o sistema construtivo mais adequado, até questões de conforto e sustentabilidade.

Quadro 5. Síntese da análise dos materiais.

| Biblioteca Parque Léon de Grieff | Biblioteca Parque Villa Lobos | Sesc Pompéia |
|---|---|---|
| - Sistema estrutural em concreto armado.<br>- Foram utilizados pisos de vinil de diferentes cores e formas, delimitando os espaços.<br>- Os materiais propostos correspondem ao uso público: alta resistência, fácil manutenção e durabilidade. | - A oca de madeira funciona como mobiliário em grande escala, com piso de tatame, almofadas e pufes.<br>- A construção é caracterizada pela utilização do concreto, aço e vidro.<br>- As aberturas protegidas por esquadrias com vidros transparentes criam ambientes iluminados. | - Houve um cuidado especial em deixar as características existentes na fábrica de tambores.<br>- Assim, surgiu no local uma nova linguagem arquitetônica, seja nas paredes, pisos, telhados, estruturas ou ainda nas instalações aparentes. |

Fonte: Autores, 2019.

### 4.6 Acessibilidade

Quando se fala de acessibilidade espacial (Quadro 6) espera-se que se viabilize que pessoas com deficiência e mobilidade reduzida possam utilizar desses espaços de forma autônoma e com segurança. Mas a acessibilidade na arquitetura e urbanismo pode ir além, promovendo espaços públicos de encontro, que permitam a acessibilidade social de toda população, como é o caso dos projetos analisados.

Quadro 6. Síntese da análise de acessibilidade.

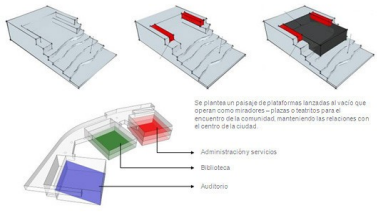
| Biblioteca Parque Léon de Grieff | Biblioteca Parque Villa Lobos | Sesc Pompéia |
|---|---|---|
| - O mirante do edifício funciona como uma extensão do espaço público existente já que ali ocorrem eventos culturais da comunidade.<br>- O acesso acontece através da via pública, onde o usuário é conduzido até a passarela que liga um bloco ao outro.<br>- O edifício possui acessibilidade através de rampas e por representar um único pavimento internamente. | - O Edifício possui acessibilidade sendo que a ligação entre os pavimentos acontece através de elevador.<br>- Possui diversos aparelhos de tecnologia assistida, como folheador de páginas, mesa ergonômica, leitora autônoma, reprodutor de áudio, régua braile, teclado e mouse adaptados, computadores com leitor de tela e ampliador de caracteres, entre outros. | - O Edifício possui acessibilidade sendo que a ligação entre os pavimentos acontece através de elevador. |

Fonte: Autores, 2019.

### 4.7 Topografia

É importante se analisar o tratamento da topografia (Quadro 7) na implantação de uma obra de arquitetura, pois o clima e o terreno em cada local são condicionantes e determinantes para decisões de composição, acessos e materiais.

Quadro 7. Síntese da análise da topografia.

| Biblioteca Parque Léon de Grieff | Biblioteca Parque Villa Lobos | Sesc Pompéia |
|---|---|---|
| - Os edifícios semienterrados adaptam-se à topografia do terreno, dando a sensação de que estão suspensos.<br><br>Fonte: Mazzanti, 2008. | - Área de topografia plana.<br><br>Fonte: Cidade de São Paulo, s.d. | - Rua interna em declive que interliga a área da antiga fábrica Pompéia ao edifício que abriga o programa de esportes do centro.<br><br>Fonte: Acervo pessoal, 2018. |

Fonte: Autores, 2019.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos novos desafios da sociedade contemporânea aos quais a mesma está imposta, do acesso rápido a informação oferecido pela internet, bem como dos impactos da cultura digital na formação de leitores na atualidade, não resta dúvida da necessidade de transformação física das bibliotecas públicas enquanto ambientes de convivência ou ainda instituições capazes de oferecer à população, de forma democrática, o acesso à cultura, leitura e lazer, de modo a tornar-se cada vez mais atuantes e presentes em nossa sociedade.

A análise teórica dos estudos de caso e as reflexões propostas, evidenciam que as edificações e espaços apresentados procuram corresponder a estes desafios propostos, desenvolvendo um importante papel para a participação social e

configurando um equipamento cultural preparado para atender ao leitor, ao usuário e ao público, que poderão utilizar-se destes espaços que disponibilizam uma diversidade de atividades, conforme demonstrado no texto.

Quanto à funcionalidade a principal característica dos estudos de caso é a adequação dos espaços a atividades muito diversas, organizando em setores e evitando problemas de fluxo. Quanto ao conforto percebe-se que a geometria, orientação solar, materiais, aberturas e proteções solares são pensadas de acordo com o clima e também com o tipo de atividade a qual o espaço é destinado, pensando nos usos em diversas horas do dia.

A composição é bem distinta nos três estudos, o primeiro divide o programa em blocos interconectados, o segundo comporta em uma única edificação todos os espaços e o terceiro é fragmentado em espaços preexistentes e novos, mas que respeitam uma setorização do programa.

O concreto armado foi utilizado nos três estudos de caso, a escolha pode ser explicada pela plasticidade e grandes vãos que o material permite, no entanto, observa-se que há na atualidade outros materiais que permitem as mesmas vantagens. A acessibilidade é atendida tanto em relação à arquitetura quanto ao acesso de acervos. A topografia da Biblioteca Parque León de Grieff é bem acidentada e define a composição escalonada em blocos para adequação do edifício no terreno, enquanto a Biblioteca Parque Villa Lobos é implantada em terreno plano e o SESC Pompéia em terreno de pouco declive, mas que por ser uma intervenção em um complexo existente não foram feitas grandes movimentações de terra, mantendo a inclinação da via interna.

## 6. REFERÊNCIAS

Ching, Francis D. K. 2013. *“Arquitetura: forma, espaço e ordem”*. Porto Alegre: Bookman.

Cidade de São Paulo. *“Parque Villa Lobos”.* <http://cidadedesaopaulo.com/v2/atrativos/parque-villa-lobos/?lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2019.

Ferraz, Marcelo C. 2018. *“Lina Bo Bardi”.* Instituto Bardi Casa de Vidro. São Paulo: Romano Guerra Editora.

Fracalossi, Igor. 2013. *"Clássicos da Arquitetura: SESC Pompéia / Lina Bo Bardi"* 05 Nov 2013. ArchDaily Brasil. <https://www.archdaily.com.br/153205/classicos-da-arquitetura-sesc-pompeia-slash-lina-bo-bardi> ISSN 0719-89062013. Acesso em: 02 maio 2019.

Grupo a educação. 2013. *“É uma biblioteca? É um parque? É a superbiblioca!”* Blog a 26 de junho de 2013 <https://bloga.grupoa.com.br/e-uma-biblioteca-e-um-parque-e-a-superbiblioteca/>. Acesso em 28 maio 2019.

Haus. 2018. *"Construída em antigo lixão, biblioteca brasileira concorre a prêmio de melhor do mundo"* 16 Jul 2018. ArchDaily Brasil. <https://www.archdaily.com.br/br/898207/construida-em-antigo-lixao-biblioteca-brasileira-concorre-a-premio-de-melhor-do-mundo> ISSN 0719-8906. Acesso em: 02 maio 2019.

Hertzberger, H. 1999. *Lições de arquitetura.* São Paulo: Martins Fontes.

Mazzanti, Giancarlo. 2008. *"Parque Biblioteca León de Grieff"* 08 feb 2008. Plataforma Arquitectura. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-5937/parque-biblioteca-leon-de-grieff-giancarlo-mazzanti> ISSN 0719-8914. Acesso em: 02 maio 2019.

Mazzanti, Giancarlo. 2009. *“Parque Biblioteca León de Grieff en Medellín”* 12 ago 2009. Arqa. <https://arqa.com/arquitectura/parque-biblioteca-publica-leon-de-greiff-en-medellin-colombia.html>. Acesso em: 02 maio 2019.

Milanesi, Luís. 1983. *“O que é Biblioteca”*. São Paulo: Brasiliense.

Unwin, Simon. 2013. *“A análise da arquitetura”*. Porto Alegre: Bookman.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Arquitetura:

# Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# HABITAR NOS ANOS 50 E NA ATUALIDADE: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DE SÃO PAULO

**Caroline Lemos Medeiros**
**Lara Cassiana Knorst Colling**
**Natalia Nakadomari Bula**
URI Erechim, Campus II - RS 331, n° 345, Bairro Demoliner, CEP 99700-000, Erechim/RS
*carolinelemosmedeiros@hotmail.com*
*lara.colling123@gmail.com*
*nataliabula@uricer.edu.br*

***Resumo:*** *Este trabalho tem como objetivo analisar as diferentes formas de habitar entre gerações, desta forma, contextualiza os acontecimentos que influenciaram socialmente e economicamente a produção da arquitetura nos anos 50 e na atualidade. Os métodos utilizados foram de revisão de literatura e análise de obras específicas por meio de categorias de autores da área da arquitetura e urbanismo. Os resultados encontrados evidenciam como a arquitetura e sociedade estão intimamente ligados, e desta forma, ainda, a importância da compreensão dos diversos saberes para a atuação profissional de cada época para responder positivamente às necessidades e aspirações das sociedades complexas.*

***Palavras chave:*** *arquitetura e urbanismo, habitar, edifícios residenciais, São Paulo.*

## 1. INTRODUÇÃO

O ato e habitar lida com as dimensões primordiais de ocupar o espaço e o tempo, e transformar um local sem significado em um espaço especial e, eventualmente, no domicílio de uma pessoa. É a base do relacionamento de alguém com o mundo e ao mesmo tempo que é um cenário funcional, material e técnico, é também um evento e uma qualidade mental e experimental (Pallasmaa, 2017).

> A noção de lar se estende muito além de sua essência e seus limites físicos. Além dos aspectos práticos de residir, o ato de habitar é também um ato simbólico que, imperceptivelmente, organiza todo o mundo do habitante. Não apenas nossos corpos e necessidades físicas, mas também nossas mentes, memórias, sonhos e desejos devem ser acomodados e habitados. Habitar é parte de nosso próprio ser, de nossa identidade (Pallasmaa, 2017).

Neste artigo serão observadas as formas de habitar de duas gerações diferentes, a geração tradicionalista e a geração "Y". A geração tradicionalista foi definida por Lancaster & Stillman (*apud* Unglaub & Unglaub, 2014) como os nascidos antes de 1946. A maior parte dessas pessoas enfrentaram consequências das grandes guerras e depressões econômicas ocorridas na época e em razão disso, no contexto geral, tornaram-se indivíduos que valorizam significativamente o emprego e funcionários obedientes. São práticos, respeitam hierarquias e colocam o dever na frente do prazer (Mattelart & Mattelart *apud* Comunicando Gerações, 2013).

O grande foco dessa geração é a família e sua constituição em consequência disso, muitas vezes era numerosa. Centram o poder e a importância do lar na figura masculina, que como provedor financeiro era o chefe da família e todos os membros deveriam agir em função de seus pontos de vista e opiniões. Na maioria das famílias a mulher era responsável pelos serviços domésticos e pela criação dos filhos, não podendo ter ocupação externa ao lar (Teixeira *et al.*, 2010).

Já a geração Y é tipicamente utilizada pelos demógrafos e pesquisados como aqueles nascidos no início dos anos 1980 até meados da década de 1990. Desenvolveram-se numa época de grandes avanços tecnológicos, prosperidade econômica e existência da internet (Viana, 2017). No geral não se sujeitam às tarefas subalternas no início de carreira e lutam por salários ambiciosos desde cedo. Os ambientes que habitam são cada vez mais integrados, minimalistas e às vezes nômades. São consumistas, autônomos e passam mais tempo morando na casa dos pais para poder aproveitar a juventude e retardar certas responsabilidades (Hipercultura, s/d).

Tendo em vista essas mudanças sociais, este trabalho pretende traçar um panorama das diferentes formas de viver e habitar a partir da comparação de dois estudos de caso que estão descritos nas seções seguintes deste artigo.

## 2. EDIFÍCIO LOUVEIRA

Projetado pelos arquitetos Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, o Edifício Louveira (Figura 1) foi construído entre os anos de 1945 e 1950, localizado no bairro paulista de Higienópolis em um lote situado junto à Praça Vilaboim, nº 144, na esquina com a Rua Piauí, n° 1.101, correspondendo ao Lote 0036, quadra 099, setor 011 (Turchi, 2015).



Figura 1. Edifício Louveira. Foto: Nelson Kon.
Fonte: https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.191/6003

Nessa época a cidade de São Paulo foi marcada por uma intervenção urbanística quando o prefeito Prestes Maia colocou em prática o plano irradiador de avenidas radiais e outras . Era um plano pensado para a locomoção por automóveis e que contribuiu para a ocupação e verticalização dos bairros no entorno do centro histórico (Galesi & Campos, 2016).

Ocorria também o crescimento desordenado em direção à periferia gerando uma crise de habitação, a valorização das regiões centrais e a maior atuação dos órgãos de planejamento da cidade por meio de legislação reguladora do zoneamento e o uso e ocupação do solo. A verticalização intensa da área central e de bairros circunvizinhos da cidade devido ao uso de elevadores e como uma estratégia de valorização dos espaços pelos proprietários de terras e agentes financeiros envolvidos no setor da construção civil são características da época (Portal Brasil, s/d).

Higienópolis é um bairro nobre localizado na região central de São Paulo conhecida como Espigão da Paulista e com perfil residencial caracterizado por população de renda média-alta, na década de 40 sofria o processo de verticalização e o êxodo da elite que passou a deixar os seus palacetes e ir para locais mais aprazíveis (Wikipédia, 2019).

Um de seus arquitetos, João Batista Vilanova Artigas, foi um importante arquiteto moderno, conhecido principalmente por reformular o currículo da FAU-USP e projetar a edificação que abriga até hoje a faculdade. Junto a seu sócio, o engenheiro Carlos Cascaldi, foi responsável por grande contribuição para a arquitetura moderna brasileira. Artigas acreditava que a arquitetura tinha uma responsabilidade social e que não deveria segregar, e sim reunir (Kamita, 2000), por isso uma das características de suas obras é a permeabilidade do transeunte no interior do terreno, como destaca Miguel:

> A cidade, como foi definida na Carta de Atenas (1993), é a resultante de um conjunto econômico, social e político, tendo como funções primordiais o habitar, trabalhar, recrear e circular. Artigas ao equiparar cidade-casa define, como todo arquiteto moderno, a casa como tendo três funções básicas (“estar”, “serviços” e “dormir”). No entanto, apresenta um quesito, de certa forma inovador na arquitetura paulista, que é a elevação da circulação a um nível de quarta função, cuja base é a integração com o espaço urbano (Miguel, 2003).

## 3. EDIFÍCIO HUMA KLABIN

O Edifício Huma Klabin (Figura 2) foi construído em 2016, localizado no bairro Vila Mariana, próximo à Avenida Domingos de Moraes, na cidade de São Paulo. O município de São Paulo nesse contexto era a cidade mais populosa do Brasil, a 11° cidade mais globalizada do planeta e 8° mais populosa. Em 2016 apresentava caráter cosmopolita possuindo habitantes de 196 países diferentes (Wikipédia, 2019).



Figura 2. Edifício Huma Klabin. Foto: Nelson Kon.
Fonte: http://www.huma.net.br/empreendimento/huma-klabin/

A Vila Mariana é um bairro nobre de São Paulo administrado pela Subprefeitura de Vila Mariana. Possui alguns dos colégios mais tradicionais da cidade e tem localização privilegiada em razão da completa infraestrutura de comércio, serviço e lazer (Wikipédia, 2019).

O Edifício foi projetado pelo Una Arquitetos, uma associação paulistana, fundada em 1996, constituída por Cristiane Muniz, Fábio Valentim, Fernanda Barbara e Fernando Viégas, todos arquitetos formados pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. Desenvolvem projetos em diversas escalas e programas e trabalham associados a empresas de engenharia e consultorias (Una arquitetos, s/d).

#### 3.1.1.1 METODOLOGIA

De acordo com Unwin (2013) "O objetivo da análise da arquitetura, como de qualquer outra disciplina criativa, é entender seus componentes e funcionamentos fundamentais a fim de assimilar e adquirir seus poderes". Para compreender as diferentes formas de viver e habitar das gerações descritas anteriormente foram definidos estudos de caso na mesma cidade, de forma a reduzir a variável da localização ao compará-los, pois embora os edifícios estejam em bairros distintos, os dois têm padrão semelhante.

Desta forma foi realizada uma coleta de dados secundários por meio de revisão de literatura e definidas as categorias de análise a partir de autores como Ching (2013), Unwin (2013), Hertzberger (1999), Malard (1992) e Almeida (2001). Além do contexto socioeconômico apresentado anteriormente, a análise comparativa das duas edificações será realizada a partir das seguintes categorias:

- implantação no lote e relação com a cidade (Hertzberger, 1999; Unwin, 2013);
- composição da forma (Ching, 2013);
- sistema/técnica construtiva e materiais;
- layout, setorização, acessos e circulação de áreas comuns e privativas (Hertzberger, 1999);
- número de pavimentos, gabarito de altura, pé-direito;
- fenômenos existenciais: territorialidade, privacidade, identidade e ambiência (Malard, 1992; Almeida, 2001).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao comparar a implantação no lote e relação com a cidade das duas edificações percebe-se que no Edifício Louveira há uma maior preocupação no diálogo com o entorno urbano, visto que projeta um ambiente privado sem nenhum tipo de fechamento ou definição de limites, conectando o espaço público com o privado. Essa característica reforça o pensamento do arquiteto de que as vidas deveriam ser sempre coletivas.

Esse ponto pode ser notado também na apropriação da Praça Vilaboim como integração do entorno urbano e o uso de pilotis e entradas envidraçadas que reforçam a relação do edifício com a cidade.

A implantação é composta por dois blocos prismáticos, paralelos entre si, alinhados pelo coroamento e interligados por uma rampa no jardim interno. Em razão dos 20 metros de espaçamento entre os blocos é possível uma excelente insolação e ventilação (Figura 3a).

Em contraponto o Edifício Huma Klabin possui uma implantação com um único bloco. Possui um recuo com jardim frontal que tem uma relação com o transeunte e com a cidade, porém o edifício é cercado e intimista. Possui um sistema de segurança com acessos por portas com bloqueio, no qual os portões internos só abrem quando os externos são fechados, além de uma guarita blindada (Figura 3b).

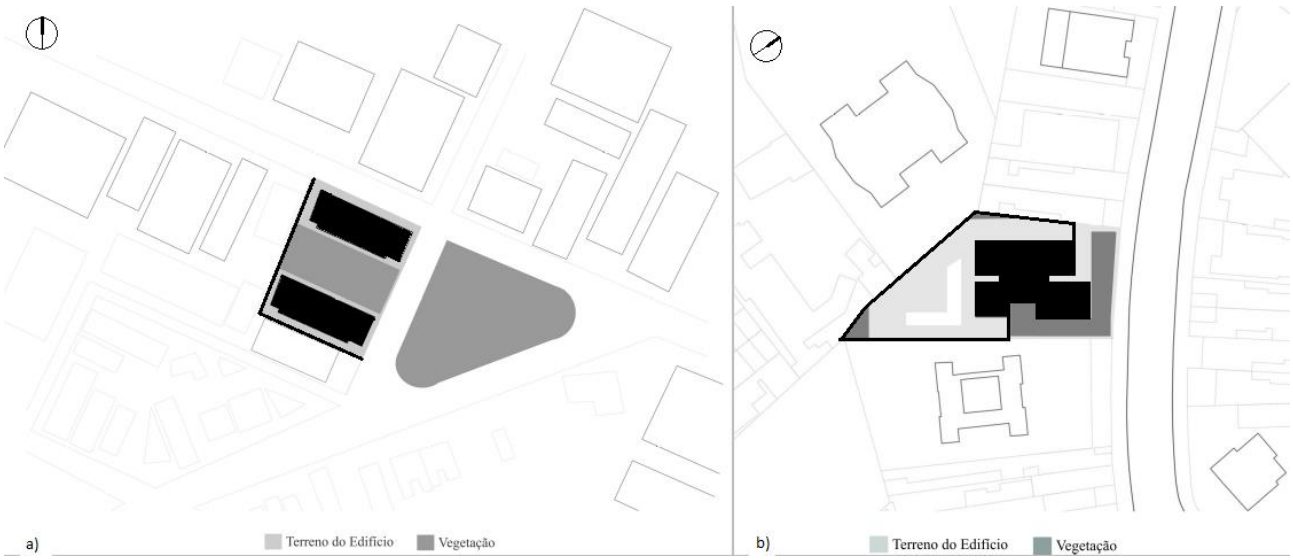



Figura 3. Implantação e entorno imediato das edificações.
Fonte: a) autoras, 2019. b) modificado pelas autoras de ArchDaily, 2017.

Sobre a composição da forma podemos notar que o Louveira é formado por dois blocos em lâminas paralelas e intermediadas por um pátio interno com jardins que ligam-se a Praça Vilaboim. Os volumes são voltados com a fachada principal para a Rua Piauí, deixando as fachadas laterais, com empenas cegas, para a Praça Vilaboim.

Todas as principais aberturas são voltadas para a mesma face na intenção de não criar um desiquilíbrio ou privilégio para certas unidades em detrimento de outras, assim, nenhum apartamento abre diretamente na praça.

As fachadas voltadas para o norte são divididas entre a parte central, composta por um pano de vidro das salas e as duas faixas de janelas venezianas dos dormitórios. Já as faces orientadas para o sul possuem um desnível do hall de serviço promovendo um efeito de saliência (Figura 4a).

No Huma Klabin os arquitetos criaram um embasamento prismático que dá estabilidade à composição e a torre de apartamentos é única composta de dois prismas alongados separados sutilmente por uma fenda que funciona como uma conexão com a cidade para promover ventilação e iluminação naturais. Os dois prismas se conectam apenas pelo core da circulação vertical (Figura 4b).

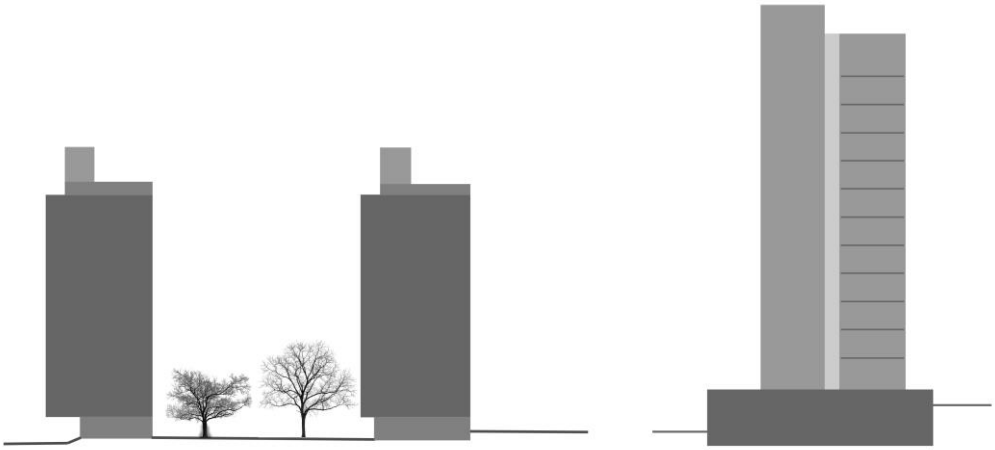


Figura 4. Esquema da composição das edificações.
Fonte: autoras, 2019.

Os sistemas, técnicas construtivas e materiais também são diferentes entre os dois objetos de estudo. O edifício Louveira faz uso da estrutura em concreto armado independente, revestimentos de pastilhas, empenas cegas, pilotis e pilares em locais pouco usuais como no centro da escada de acesso e centro da sala de estar.

Também utiliza superfícies envidraçadas, no hall de entrada e nas salas de cada apartamento, janelas do tipo guilhotina e cores como o azul, terra de siena (vermelho) e amarelo (Figura 5a).

Já Huma apresenta grandes paredões em concreto aparente, forros em placas de madeira, painéis internos de gesso, pensando na eficiência térmica e acústica e utilização de vidro em toda a face que se abre para as varandas. Pilotis, piscina com espelho d'água e deck de madeira, painéis translúcidos que podem ser enrolados para controlar a incidência de sol, chuva e ventos, painéis solares e sistemas de armazenamento e distribuição da água aquecida (Figura 5b).



Figura 5. Sistemas/técnicas construtivas e materiais empregados nas edificações.
Fonte: a) Turchi, 2015. b) ArchDaily, 2017.

Os acessos do Louveira podem ser feitos pelo nível do embasamento, onde ficam as garagens, com entrada para o térreo através da rampa central ou pela escadaria com pilotis voltada para a rua. Tanto os acessos quanto as circulações sociais e de serviços são separados de acordo com o costume das edificações burguesas da época. Cada andar possui dois amplos apartamentos, de 160 m², cada um com três quartos, sala para dois ambientes, um banheiro, cozinha e área de serviço.

Ao comparar layout, setorização nota-se que mesmo o Edifício Louveira sendo uma obra moderna o desenho das plantas dos apartamentos seguiu a divisão burguesa com espaços claramente divididos entre as áreas de serviço, convívio social e íntima, além de todos apartamentos, com exceção do zelador, possuírem cômodo para empregados com acesso sem nenhuma ligação com o acesso social (Figura 6).




Figura 6. Planta baixa do Ed. Louveira.
Fonte: adaptado pelas autoras de Castello, 2017.

Ao contrário, o Edifício Huma Klabin possui apartamentos integrados, além de lavanderias e academias coletivas. Cada andar possuí quatro apartamentos de 44 m², com um quarto integrado a sala de estar e cozinha, banheiro e varanda e um de 67 m² com uma suíte, um dormitório, um banheiro social, estar e cozinha integrados e varanda.

Os acessos tanto pela portaria principal quanto pela garagem possuem o sistema de bloqueio e a circulação é feita pelo espaço que os dois blocos são afastados, sendo usado também como passagem aberta à cidade com luz e ar. Os espaços reduzidos dos apartamentos são compensados com os de uso comum, como piscina, academia, área gourmet, salão de festas, lavanderia e solário (Figura 7).




Figura 7. Planta baixa do Ed. Huma Klabin.
Fonte: adaptado pelas autoras de ArchDaily, 2017.

Observando o número de pavimentos, gabarito de altura e pé direito podemos perceber que o Louveira possui o térreo com um apartamento, mais sete pavimentos com dois apartamentos por andar, sendo no total 30 apartamentos de três dormitórios, além de um de dois dormitórios, pertencendo ao zelador que fica no térreo de uma das torres. O gabarito de altura do Louveira é de aproximadamente 27 metros com o pé direito dos pavimentos de 3,5 metros. Como o térreo está elevado por pilotis e acompanha o desnível do terreno o pé direito deste pavimento varia conforme a topografia.

Vale ressaltar que o edifício Louveira era na época um avanço em relação à verticalização da cidade de São Paulo, sua construção apenas foi possível pelo uso do concreto armado e a recém chegada tecnologia de elevadores.

Huma Klabin possui 12 andares em um dos volumes e 11 andares no outro, totalizando aproximadamente 43 metros de altura com pavimentos com pé direito de 3 metros. Tem pé direito duplo do hall social até o hall dos elevadores no pavimento térreo.

A publicidade dos empreendimentos é interessante para compreender os valores das sociedades de cada época. Na Figura 8, lê-se as características apontadas são “luxo, confôrto e bom-gôsto” e que a localização “no coração do aristocrático bairro de Higienópolis” é muito valorizada pela facilidade de mobilidade e acesso ao comércio e serviços.




Figura 8. Anúncio de venda de apartamentos do Ed. Louveira.
Fonte: Jayo, 2013.

Já a publicidade do Ed. Huma Klabin (Figura 9) dá ênfase no projeto autoral, na personalidade, um espaço “contemporâneo e criativo” que visa um “baixo impacto ambiental” e por isso abre mão de espaços privativos por “espaços de convívio”.




Figura 9. Páginas 4, 5, 28 e 29 do folder de vendas do Huma Klabin.
Fonte: Huma Klabin, s/d.

Quanto aos aspectos existenciais, nota-se que a territorialidade é expressa no Huma Klabin, com muros altos e fechamento em relação à rua, enquanto no Louveira, com a permeabilidade do térreo, público e privado se integram. A privacidade acaba sendo maior no Louveira, pois os apartamentos compreendem todos os ambientes de uma residência unifamiliar, enquanto o Huma transfere algumas das atividades para áreas comuns como a lavanderia, por exemplo.

A identidade estaria ligada à apropriação do espaço de cada unidade habitacional, demandando análise mais aprofundada de cada apartamento em relação aos seus moradores. Ao projetar as edificações os arquitetos propõem formas de ocupação dos espaços, no entanto cada morador se apropria de forma distinta, conforme delimitações de aberturas, divisões internas e instalações prediais. Um exemplo pode ser visto por meio da diferenciação de revestimento de pisos nas áreas de estar interno e varanda no Ed. Louveira (Figura 10).



Figura 10. Vista interna Ed. Louveira.
Fonte: Medrano & Recamán, 2016.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises comparativas entre as duas edificações de duas épocas diferentes evidenciam que assim como a sociedade está em constante mudança, também a arquitetura deve acompanhá-la.

Nota-se em cada um dos edifícios a influência do pensamento de seus arquitetos, no caso do Edificio Louveira fica clara a preocupação que Vilanova Artigas tinha com a questão social e relacionamento público-privado. Já os profissionais da Una Arquitetos, responsáveis pelo Edifício Huma Klabin, todos egressos da USP, universidade que teve o currículo reformulado por Artigas, e trazem parte do ensinamento dele como base porém ajustado às novas necessidades e limites da época.

Huma Klabin poderia desejar criar uma maior relação com a cidade, entretanto, atualmente, existem limitantes na questão de segurança. Também é um edifício com maior densidade, por possuir mais andares e mais apartamentos, isso se explica pela valorização fundiária que vem ocorrendo, onde se torna cada vez mais caro o espaço de moradia e a solução encontrada pode ser diminuir a área privativa dos apartamentos e criar áreas comuns.

A geração para quem foi pensado o Edifício Louveira era, muitas vezes, formada por familias mais numerosas e mulheres que passavam mais tempo dentro de casa, ajudando no trabalho doméstico e cuidando dos filhos em razão disso a área de cada apartamento é bem maior se comparada com o Huma Klabin. Atualmente na metrópole de São Paulo há muitas pessoas que buscam morar sozinhos, os casais que optam por não ter filhos, e ainda, a emancipação das mulheres, que faz com que a cada dia mais mulheres entrem para o mercado de trabalho, reduzindo o tempo de trabalho doméstico.

O novo estilo de vida da geração “Y” e valorização imobiliária faz com que os apartamentos tenham áreas muito menores que os de épocas anteriores. Muitas pessoas optam por apartamentos menores pela praticidade de limpeza e proximidade do trabalho, visto que o tempo de deslocamento na cidade aumentou muito desde a década de 50.

Na questão construtiva os dois edifícios utilizam tendências da época. O Louveira possui características modernas como os pilotis e utilizou inovações da época como o concreto armado e o elevador, de extrema importância para o processo de verticalização. E o Huma utiliza de materiais e tecnologias que em 1946 não eram usados como os painéis translúcidos nas varandas e painéis solares para geração de energia limpa.

Após realizar as análises podemos notar que é importante para os profissionais da arquitetura entenderem as mudanças na forma de viver e habitar da sociedade e das evoluções tecnológicas de cada época para que assim possam projetar o melhor possível para seu tempo.

## 6. REFERÊNCIAS

Almeida, M. M. 2001. *Da experiência ambiental ao projeto arquitetônico: um estudo do caminho do conhecimento na arquitetura.* Tese (Pós-graduação em Engenharia de Produção) - UFSC, Florianópolis.

ArchDaily. 2017. *Huma Klabin / UNA Arquitetos.* 28 Mar 2017. ArchDaily Brasil. (Trad. Hernández, Diego). <https://www.archdaily.com.br/br/868006/huma-klabin-una-arquitetos>. Acesso em 30 ago 2019.

Castello, L. 2017. *Edifício Louveira- São Paulo- Brasil.* Blog Arquitetura Café e Arte. <https://laracastello.wordpress.com/2017/02/23/edificio-louveira-sao-paulo-brasil/>. Acesso em 30 ago 2019.

Ching, Francis D. K. 2013. *Arquitetura: forma, espaço e ordem*. Porto Alegre: Bookman.

Comunicando gerações. 2013. *Geração tradicional*. Blog Comunicando Gerações. <https://comunicandogeracoes.wordpress.com/category/geracao-tradicional/>. Acesso em 05 set 2019.

Galesi, R. & Campos C. M. 2016. *Edifício Louveira: Arquitetura Moderna e Qualidade Urbana*. <http://docomomo.org.br/wp-content/uploads/2016/01/134R.pdf>. Acesso em 04 set 2019.

Hertzberger, H. 1999. *Lições de arquitetura.* São Paulo: Martins Fontes.

Jayo, M. 2013. *O mistério do Louveira.* In Blog quando a cidade era mais gentil. 25 Fev. 2013 <https://quandoacidade.wordpress.com/2013/02/25/o-misterio-do-louveira/>. Acesso em 30 ago 2019.

Hipercultura. s/d. *Geração Y*: conheça as principais características dos millennials. <https://www.hipercultura.com/geracao-y/>. Acesso em 05 set 2019.

Huma Klabin. s/d. Folder Huma Klabin. <http://www.huma.net.br/empreendimento/huma-klabin/>. Acesso em 30 ago 2019.

Kamita, J. M. 2000. *Vilanova Artigas*. São Paulo: Cosac & Naify Edições.

Malard, M. L. 1992. *Brazilian low-cost housing: interactions and conflicts between residents and dwellings.* Ph.D. Thesis. Sheffield: University of Sheffield.

Medrano, L. & Recamán, L. 2016. *Vilanova Artigas e o Condomínio Louveira. Verticalização e ordem urbana*. Arquitextos, São Paulo, ano 16, n. 191.00, Vitruvius, abr. 2016 <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.191/6003>. Acesso em 04 set 2019.

Miguel, J. M. C. 2003. *A casa*. Eduel, Londrina. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo.

Pallasmaa, J. 2017. *Habitar.* São Paulo: GG Brasil.

Portal Brasil. s/d. *Cidades Brasileiras: São Paulo – história.* <https://www.portalbrasil.net/brasil_cidades_saopaulo_historia.htm>. Acesso em 05 set 2019.

Teixeira, A.R. & Raposo, A. & Melo, J. P. 2010. *Geração Silenciosa*: Comportamento e Características da personalidade. 20 de abril de 2010. Blog Geração do Marketing. <http://geracoesdomarketing.blogspot.com/2010/04/geracao-silenciosa.html>. Acesso em 05 set 2019.

Turchi, T. P. 2015. *Artigas e o Ed. Louveira:* Edifícios residenciais e a verticalização de São Paulo na obra de Vilanova Artigas. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília.

Unglaub, E., & Unglaub, D. 2014. *Conflito geracional:* a influência das gerações no ambiente corporativo. *Acta Científica*, *21*(3), 99-107 <https://www.revistas.unasp.edu.br/actacientifica/article/view/70>. Acesso em 05 set 2019.

Una arquitetos. s/d. *Escritório: sobre o una.* <http://www.unaarquitetos.com.br/site/home/sobre/una/12>. Acesso em 06 set 2019.

Unwin, Simon. 2013. *A análise da arquitetura*. Porto Alegre: Bookman.

Viana, Arthur. *Geração dos millennials: onde vivem, como pensam, como compram e como vendem*. <https://outboundmarketing.com.br/geracao-dos-millennials/>. Acesso em: 06 set. 2019.

Wikipédia. 2019. *Higienópolis (bairro de São Paulo).* Editada pela última vez em 01 maio 2019. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Higien%C3%B3polis_(bairro_de_S%C3%A3o_Paulo)>. Acesso em 07 set 2019.

Wikipédia. 2019. *São Paulo.* Editada pela última vez em 07 set 2019. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Higien%C3%B3polis_(bairro_de_S%C3%A3o_Paulo)>. Acesso em 07 set 2019.

Wikipédia. 2019. *Vila Mariana (bairro de São Paulo)*. Editada pela última vez em 05 mar 2019. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Vila_Mariana_(bairro_de_S%C3%A3o_Paulo)>. Acesso em 07 set 2019.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

CONIGTI
4th International Congress of Management, Technology and Innovation
October, 1st- 06, 2018 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# OS MOINHOS COLONIAIS NA REGIÃO DO ALTO URUGUAI

**Beatriz Maria Valduga**
**Natália Biscaglia Pereira**
RS-135, 200 - Zona Rural, Erechim - RS, 99700-000
Universidade Federal da Fronteira Sul Erechim/RS
beatrizvalduga@yahoo.com.br
natalia.pereira@uffs.edu.br

***Resumo:*** *O presente artigo pretende abordar a importância dos moinhos coloniais perante desenvolvimento dos municípios que compõem a região do Alto Uruguai. Seu surgimento está atrelado ao processo de colonização, com início em 1910, por imigrantes italianos que deles dependiam para transformar o grão em alimento. Durante anos, os moinhos marcaram as paisagens da região, representando o modo de vida, a cultura e a produção econômica destes colonizadores. Porém, com o início da modernização na zona rural, por volta de 1970, esses engenhos foram entrando em decadência, sendo na maior parte destruídos. Sendo assim, o trabalho busca retomar a história da ocupação no Estado do Rio Grande do Sul e, posteriormente, na região do Alto Uruguai, a fim de compreender o processo de surgimento dos moinhos. Logo, para entender as causas do abandono dessas edificações é apresentado um levantamento geral de quantos moinhos existiram e quantos remanescem na região. Em suma, alerta-se para a importância da sua preservação, pois esses engenhos exercem não apenas o papel de patrimônio arquitetônico-agroindustrial, mas também, de patrimônio imaterial, relacionados aos saberes e fazeres dos imigrantes.*

***Palavras-chave:*** *Moinhos coloniais, Alto Uruguai, Patrimônio agroindustrial.*

## 1. INTRODUÇÃO

Durante o processo de colonização da região do Alto Uruguai gaúcho, a presença dos imigrantes de diversas nacionalidades, principalmente de origem italiana, permitiu a formação de lugares distintos, repletos de bens materiais e imateriais, cheios de história, cultura e memória (Ducatti Neto, 1981). Desses elementos, o que mais marcou as paisagens da região foram os moinhos coloniais. De acordo com Andrade (2014), os moinhos ou engenhos de moer grãos, também chamados de azenhas, eram movidos geralmente por uma roda d'água vertical, um sistema bastante tradicional de geração de força motriz, introduzidos no Brasil a partir do século XIX, por meio da imigração europeia. Essas estruturas, além de simbolizar o modo de vida, a cultura e a produção econômica destes colonizadores, contribuíram para o desenvolvimento e o povoamento de cada local.

Pode-se incluir a tipologia dos moinhos coloniais no patrimônio agroindustrial, que é inerente aos vestígios da cultura industrial no meio rural, que possuem valor histórico, tecnológico, social, arquitetônico ou científico. Com suas origens atreladas ao conceito da arqueologia industrial em meados do século XX, os remanescentes industriais e memórias relacionadas ao trabalho, assim como as técnicas e tecnologias, passaram a ser objeto de interesse patrimonial.

Segundo a Carta de Nizhny Tagil (2003), os vestígios do patrimônio industrial, categoria a qual pertence o patrimônio agroindustrial, englobam "edifícios e maquinaria, oficinas, fábricas, minas e locais de tratamento e de refinação, entrepostos e armazéns, centros de produção e transmissão de energia, meios de transporte e todas as suas estruturas e infraestruturas, assim como os locais onde se desenvolveram atividades sociais relacionadas com a indústria (...)". Assim, o próprio maquinário, figurando como bem integrado e as técnicas utilizadas no processamento dos grãos, são intrínsecos à própria matéria edificada, dotados de significado imaterial.

Ao longo dos anos, a crescente modernização nas técnicas de agricultura e o envelhecimento daqueles que dominavam os processos tradicionais dos engenhos acarretaram a degradação e, na maior parte, a destruição desses bens que compõem o patrimônio industrial rural. Também nota-se que este patrimônio na região do Alto Uruguai encontra-se esquecido, tornando urgente a sua valorização, pois, além da sua pertinência diante da economia e da formação das comunidades, eles representam a memória de um povo com raízes históricas.

Sendo assim, o presente trabalho busca retomar a história da ocupação no Estado do Rio Grande do Sul e, posteriormente, na região do Alto Uruguai, a fim de compreender o processo de surgimento dos moinhos coloniais e a sua importância. Logo, será apresentado um levantamento quantitativo de quantos moinhos existiram e quantos

remanescem na região, buscando compreender o contexto em que estão inseridos e os motivos que levaram ao abandono.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho tem como objeto de estudo os moinhos localizados na região do Alto Uruguai, no centro norte do Estado Rio Grande do Sul, fronteira com o Estado de Santa Catarina. O objetivo é apresentar um levantamento geral do quantitativo de moinhos coloniais que existiram e remanescentes na região, com utilização de registros fotográficos.

Como método, inicialmente estudou-se a bibliografia referente ao processo de surgimento dos moinhos na região em relação ao contexto histórico de ocupação do Rio Grande do Sul e, especificamente, da região do Alto Uruguai. Em seguida, foi realizada a pesquisa a campo, com uso de coleta de dados sobre moinhos em arquivos históricos, bibliotecas e museus locais.

Ainda utilizou-se de entrevistas com funcionários de secretarias de cultura de municípios e moradores antigos das comunidades, acerca da existência de moinhos. O levantamento, realizado de abril a junho de 2019, contou com um número de 38 pessoas entrevistadas oralmente, sem utilização de formulário.

Os resultados foram sintetizados em uma tabela, que evidencia preliminarmente quantos moinhos existiram e quantos remanescem em cada munícipio. Dada a dificuldade em termos de carência de pesquisas na área e falta de registros, os números apresentados não são exatos, e sim aproximados. Eles demonstram a presença constante desta tipologia na região. Da mesma forma, precisa-se ressaltar que não foi possível descobrir, até o momento, a data de construção dos remanescentes.

## 3. A COLONIZAÇÃO E A IMPORTÂNCIA DOS MOINHOS NA REGIÃO DO ALTO URUGUAI

Na região do Alto Uruguai, assim como no restante do Estado do Rio Grande do Sul, a história dos moinhos está associada ao início da sua colonização, sendo que os mesmos desempenharam um importante papel perante o desenvolvimento econômico e a vida das pessoas. Para entender como ocorreu a chegada dos moinhos até a região, assim como a sua importância, será feita uma breve retomada da ocupação no território do Rio Grande do Sul e, posteriormente, no Alto Uruguai.

Segundo Luvizotto (2009), a história da ocupação do Rio Grande do Sul iniciou muito antes da chegada dos Europeus. O território era povoado por indígenas, que estavam subdivididos por tribos e espalhados pela vasta região. A partir de 1629, chegaram diversos jesuítas ao estado, que tiveram suas reduções atacadas por paulistas no Guaíra (atual estado do Paraná). Para livrar-se do ataque dos paulistas, os jesuítas concentraram os indígenas convertidos e fundaram os Sete Povos das Missões. Nesse contexto, a produção de cereais servia apenas para subsistência.

Foi no século seguinte que o cultivo dos grãos começou a ganhar destaque no estado. "Em 1750, o Tratado de Madrid entre Portugal e Espanha estabeleceu que a região das missões fosse administrada por Portugal" (Luvizotto, 2009, p.04). Com as missões desmanteladas, a partir de 1750 os imigrantes açorianos chegaram ao território Rio-Grandense. Estes recebiam pequenas propriedades da Coroa Portuguesa e passaram a se estabelecer na área onde hoje está a cidade de Porto Alegre, sendo os responsáveis pela introdução do cultivo do trigo no Estado. Nesse contexto, a produção do cereal não chegou a atingir grandes volumes, pois se destinava à exportação até o Rio de Janeiro e, em alguns casos, para a Europa (Oliveira Neto; Santos, 2017).

De acordo com Bandeira (1995, *apud* Luvizotto, 2009), a partir do século XIX o governo brasileiro passou a direcionar imigrantes europeus para os estados do Sul. Sendo assim, em 1824, chegaram os alemães na região do atual município de São Leopoldo. A colônia passou a crescer rapidamente e, por se localizar as margens do Rio dos Sinos, as áreas planas e férteis facilitavam o plantio. "A partir da colônia de São Leopoldo, outras colônias alemãs começaram a se formar a sua volta" (Luvizotto, 2009, p.6).

Os imigrantes italianos chegaram a partir de 1875 e se instalaram na região das serras. Nesse período, apesar da produção ser feita, na maior parte, pelas pequenas propriedades, houve um aumento expressivo no cultivo no trigo. Assim, "os moinhos, juntamente com as redes de comércio já instaladas no meio rural [...] absorviam a produção local, dinamizando ainda mais a produção do trigo" (Tedesco; Sander, 2002, p.102, a*pud* Doro, 2004, p. 21).
Ainda segundo Andrade (2015), no sul do país, a abundância do trigo, cultivado constantemente pelos imigrantes e seus descendentes, fez com que seus moinhos fossem capazes de moer tanto o cereal europeu quanto o milho americano.

Sendo assim, "era na zona de imigração italiana que os moinhos proliferavam mais, o que se justifica pela produtividade do trigo, que também era superior nas colônias italianas" (Doro, 2004, p. 23). Mas com o aumento da população nessas áreas, a política colonizadora do estado passou a estimular a migração para as Colônias Novas (Doro, 2004).

Por isso, a partir de 1910, a atual região do Alto Uruguai, conhecida como Colônia Erechim, passou a receber imigrantes de diversas nacionalidades, na maior parte italiana, polonesa e alemã, oriundos do estrangeiro e das colônias velhas que se encontravam superpovoadas. As terras, então, eram distribuídas para esses agricultores e baseavam-se no

regime da pequena propriedade. “Os colonos derrubavam o mato e plantavam o milho, o feijão, o trigo e outros cereais” (Ducatti Neto, 1981, p. 195).

Nesse contexto, começaram a surgir os primeiros moinhos (Fig. 1), voltados para atender as necessidades de cada comunidade recém-formada, pois eram os responsáveis por triturar os grãos e colocar o alimento na mesa dos que necessitavam. Geralmente eram pequenos moinhos e funcionavam informalmente, por isso havia muitos espalhados por toda a região (Doro, 2004).



Figura 1. Moinho de José Campagna, Dourado, 1920. Fonte: (Dal Moro, 2012, p. 122).

Durante o processo de formação das cidades os imigrantes produziam uma arquitetura singular, pois buscavam referências nas construções típicas do seu país de origem, mas utilizavam materiais e recursos disponíveis na região, como a madeira da araucária, a pedra basalto, a telha e tijolos e cerâmicos (Furtado, 2009). No caso dos moinhos, apesar da sua simplicidade construtiva, havia uma complexidade em relação aos mecanismos que os equipavam e o seu funcionamento (Fig. 2), pois eram dotados de engenharia e princípios físicos incríveis, podendo ser considerados uma obra-prima do trabalho humano, pois aproveitavam as forças da natureza para transformar o grão em alimento (Doro, 2004).



Figura 2. Maquinário do Moinho Santa Catarina, Três Arroios. Fonte: Natália Pereira, 2018.

Sendo assim, durante anos os moinhos desempenharam um papel fundamental perante o desenvolvimento dos municípios, mas foi na década de 50 que tiverem o seu apogeu. Nesse período, a modernização na zona rural permitiu a produção em larga escala e a região destacou-se na produção do trigo, sendo que Erechim era conhecida como a Capital Nacional do Trigo. A região contava com um grande número de moinhos que atendiam as demandas da população pelo beneficiamento dos cereais. Foi a partir dessas condições que os moinhos tornaram-se tão presentes em nossas paisagens e por muitos anos foram considerados uma das maiores fontes de renda (Chiaparini *et al*, 2012).

## 4. RESULTADOS

Diante da falta de estudos nessa área, assim como a necessidade de compreender o contexto destes moinhos, a sua importância e os motivos que levaram ao abandono e destruição, fez-se um estudo prévio acerca de quantos moinhos existiram e quantos remanescem na região do Alto Uruguai. Como descrito nos procedimentos metodológicos, este levantamento baseou-se em bibliografias e contatos realizados com moradores, prefeituras municipais e secretarias de cultura. Sendo assim a Tab. 1, apresenta os municípios que compõem a região do Alto Uruguai, respectivamente, quantos moinhos existiram e, destes, quantos remanescem.

Tabela 1. Moinhos que existiram e remanescentes na região do Alto Uruguai.

| **Municípios do Alto Uruguai** | **Número de moinhos que existiram** | **Número de moinhos remanescentes** |
|---|---|---|
| Aratiba | 3* | 1* |
| Áurea | 2* | 1* |
| Barão de Cotegipe | 5* | 1* |
| Barra do Rio Azul | 3* | 0* |
| Benjamin Constant do Sul | 2* | 0* |
| Campinas do Sul | 7* | 0* |
| Carlos Gomes | 2* | 0* |
| Centenário | 3* | 1* |
| Charrua | 2*** | 0* |
| Cruzaltense | 4* | 1* |
| Entre Rios do Sul | 5* | 0* |
| Erebango | 3*** | 0* |
| Erechim | 28** | 0* |
| Erval Grande | 8* | 0* |
| Estação | 3* | 1* |
| Faxinalzinho | 2* | 0* |
| Floriano Peixoto | 3* | 1* |
| Gaurama | 8* | 1* |
| Getúlio Vargas | 5*** | 0* |
| Ipiranga do Sul | 4* | 0* |
| Itatiba do Sul | 1* | 0* |
| Jacutinga | 7* | 0* |
| Marcelino Ramos | 4* | 2* |
| Mariano Moro | 3* | 0* |
| Paulo Bento | 7* | 2* |
| Ponte Preta | 8* | 1* |
| Quatro Irmãos | 5* | 1* |
| São Valentim | 2* | 1* |
| Sertão | 3* | 0* |
| Severiano de Almeida | 2* | 1* |
| Três Arroios | 5* | 1* |
| Viadutos | 7* | 0* |
| **Total** | **156** | **17** |

* Levantamento feito pelas autoras sobre quantos moinhos existiram e existem nas suas respectivas cidades de acordo com moradores locais, prefeituras e as secretarias de cultura dos municípios.

** Levantamento feito pela autora sobre quantos moinhos existiram nas suas respectivas cidades de acordo com Karnal (1926).

*** Levantamento feito pela autora sobre quantos moinhos existiram nas suas respectivas cidades de acordo com Stumpf e Ranzolin (1952).

Por meio do levantamento apresentado na Tab. 1 é possível perceber que, dentre os 156 moinhos que aproximadamente existiram na região do Alto Uruguai, apenas 17 ainda são encontrados. Por vezes, a dificuldade de locomoção e a não autorização dos proprietários dificultou o acesso de chegada até alguns destes moinhos. Portanto, não se sabe o estado de conservação de todos, mas os que foram visitados e registrados (Fig. 3 e Fig. 5) encontram-se em processo de degradação por intempéries e por não cumprirem mais com sua função original.

Na maioria dos casos, pode-se associar o abandono ao início da modernização agrícola na zona rural, por volta 1970. A partir desse período, os avanços tecnológicos proporcionaram o acesso mais fácil aos produtos industrializados e, como consequência, a falta de procura por parte dos agricultores fez com que esses moinhos entrassem em decadência.

Com base no levantamento dos moinhos remanescentes na região, observou-se que as tipologias de moinhos na região do Alto Uruguai, utilizam como matéria prima principal a madeira. Configuram-se em edificações de que podem variar de dois pavimentos, distribuída em porão e térreo, ou em três pavimentos, que podem atingir grande altura, dividida em porão, térreo e sótão. O telhado pode ser de duas a quatro águas, com grande inclinação, nos casos de edificações mais antigas, ou de pouca inclinação, quando estas já foram alteradas ou construídas mais recentemente.




Figura 3. (a) Moinho Dors, Paulo Bento (b) Moinho Zicato,Ponte Preta ( c) Moinho Santa Catarina, Três Arroios. Fonte: autoras, 2019.

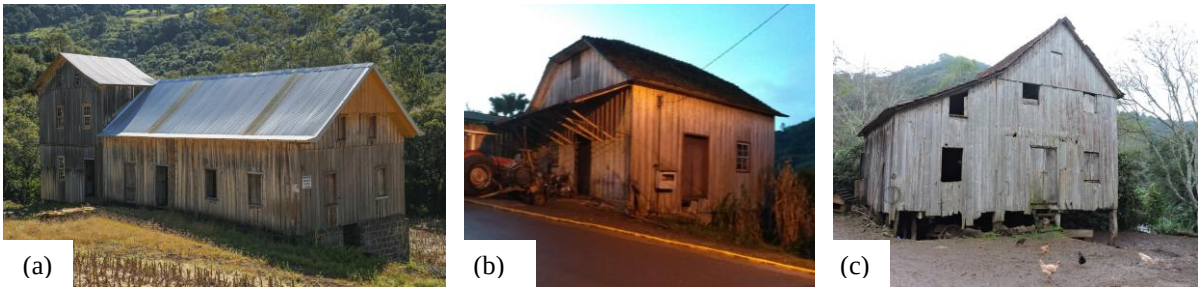



Figura 4. (a) Moinho Linha Link em Gaurama. Fonte: Luiz Levandovski, 2019; (b) Moinho Fortuna em Aratiba. Fonte: Gabriela Dalbosco, 2019 (c); Moinho Kuffel em Floriano Peixoto. Fonte: Nair Kuffel, 2019.

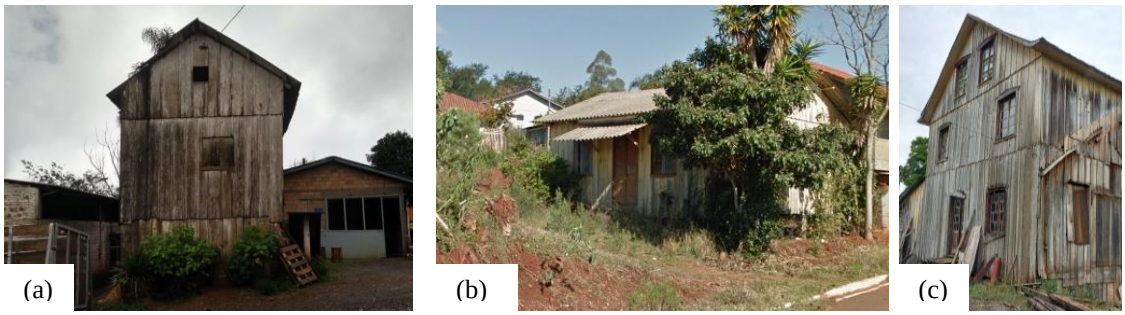



Figura 5. (a) Moinho Cagol em São Valentim (b) Moinho Três em Barão de Cotegipe (c) Moinho em Pinhalzinho, Marcelino Ramos. Fonte: autoras, 2019.



(a) (b)

Figura 6. (a) Moinho Beal, Marcelino Ramos. Fonte: Danielli Mezzalira, 2019; (b) Moinho Peretti em Estação. Fonte: Paola Lunedo, 2019.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, pode-se destacar a importância que esses engenhos tiveram na vida comunitária e no desenvolvimento das suas respectivas cidades. Os exemplares remanescentes, além do caráter patrimonial inquestionável que possuem, são capazes de proporcionar o convívio com a arquitetura rural e com patrimônio imaterial.

Por meio do levantamento apresentado, foi possível compreender o contexto em que se inserem estes moinhos, além de contribuir para pesquisas futuras e reafirmar a importância da sua preservação como patrimônio material e imaterial.

Como a maioria dos exemplares desapareceu e os remanescentes possuem poucos dados históricos e registros sobre a construção, é importante ampliar a investigação dos existentes, incluindo para além do registro fotográfico, o levantamento métrico arquitetônico e entrevistas com proprietários para resgatar o histórico das construções.

## 6. REFERÊNCIAS

Andrade, F. de C. D., 2014. “A presença dos moinhos hidráulicos no Brasil”. *Anais do Museu Paulista*. Vol .23. n.1. p. 133.

TICCIH, 2003. “The nizhny tagil charter for the industrial heritage” 10 Set. 2019. <https://www.icomos.org/18thapril/2006/nizhny-tagil-charter-e.pdf >.

Chiaparini, E.J. et al., 2012. *Erechim: Retratos do passado memórias do presente.* Graffoluz, Erechim.

Dal Moro, S. (coord.). 2012. *Aratiba, sua saga, seu povo, sua história*. Graffoluz, Aratiba. 2 ed.

Doro, D. 2004. *A trajetória dos moinhos em Ponte Preta.* TCC (Graduação) - Curso de História, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Ponte Preta.

Ducatti Neto, A.,1979. *A Vida Nas Colônias Italianas.* Porto Alegre: Est Edições.

Ducatti Neto, A.,1981 *O Grande Erechim e Sua História.* Porto Alegre: Est Edições.

Furtado, R., 2009. *Antonio Prado: Memória e Preservação.* Brasília: Monumenta.

Karnal, O. da C.,1926. *Subsídios para a história de Erechim.* Porto Alegre: Globo.

Luvizotto, C. K., 2009. “O Rio Grande do Sul e o gaúcho”. In *Cultura gaúcha e separatismo no Rio Grande do Sul.* São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. p. 93. 20 Mai. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/109102>

Oliveira neto, A. A. de and Santos, C. M. R., 2017. *A cultura do trigo.* Brasília: Conab. 16 Mai. 2019. <https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf>.

Stumpf, L. and Ranzolin, C. 1952. *Monografia do Município de Getúlio Vargas.* Erechim: Of. Gráficas da Livraria e Tipografia Modelo.

## 7. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# INTER-RELAÇÕES ARQUITETÔNICAS: A ÁFRICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O BRASIL

**Raiane Luiza Balestrin Bez**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
raianebbez@gmail.com

**Helen Balestrin**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
helenbalestrin@hotmail.com

**Fernanda Andressa Gauer**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
gauerfg@gmail.com

**Alana Saccomori Giesel**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
alanagiesel@gmail.com

**Vanessa Tibola da Rocha**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
vanessarocha@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A historiografia da arquitetura e do urbanismo no Brasil, como em muitos outros países em desenvolvimento, encontra necessidade de incentivo, pesquisa, registros e compartilhamento de saberes. E, diante disso, o objetivo deste artigo é tratar das relações arquitetônicas existentes entre o Brasil e a África, considerando-se um produto do processo de colonização. A metodologia do artigo pode ser classificada como: descritiva, baseada na análise de dados secundários. Os resultados do trabalho permitiram identificar que, de fato, há uma inter-relação entre os dois territórios, através dos povos africanos sudaneses e bantos com as comunidades quilombolas brasileiros.*

***Palavras-chave:*** *história da arquitetura, arquitetura brasileira, arquitetura africana.*

## 1. INTRODUÇÃO

Não há dúvidas de que, para uma sociedade se desenvolver com propósitos e valores, é necessário compreender, estudar e valorizar sua história. A partir disso, a Lei nº 12.288 de 20 de julho de 2010, o *Estatuto da Igualdade Racial*, que em seu artigo 11 determina:

> *Nos estabelecimentos de ensino fundamental e ensino médio, públicos e privados, é obrigatório o estudo da história geral da África e da história da população negra no Brasil [...]. Os conteúdos referentes à história da população negra no Brasil serão ministrados no âmbito de todo o currículo escolar, resgatando sua contribuição decisiva para o desenvolvimento social, econômico, político e cultural do País (Brasil, 2010. Lei 12.288, art. 11, § 1o e § 2o).*

Essa determinação provoca uma reflexão crítica nos contextos do ensino superior. Isso porque, saindo da esfera de ensino fundamental e médio, trazendo as ementas dos cursos de arquitetura e urbanismo no país, há um ensino totalmente

eurocêntrico. Os debates acerca da diversidade de modelos arquitetônicos mundiais, enfatizam à carência do debate sobre conhecimentos arquitetônicos e urbanísticos como, por exemplo, da arquitetura asiática (à exceção do Japão), arquitetura Indígena, arquitetura Árabe e arquitetura Africana. Sendo a última, publicada regionalmente (Rio Grande do Sul), pelo título *Arquitetura Popular Brasileira*, do gaúcho Günter Weimer (Pereira, 2011).

A história africana possui suas especificidades como qualquer outra cultura, contudo torna-se imprescindível saber que, a tradição da arquitetura vernacular africana se apoia na oralidade, assim como todas as suas demais manifestações culturais. É por meio dessas estórias que cada geração conserva a sabedoria de seus antepassados (Pereira, 2011).

Nesse contexto, o exemplo a construção de adobe no Mali, que até hoje faz parte do saber local, na qual, se procura conservar colocando as gerações mais novas em contato com os adobeiros e os mestres de construção como uma forma de respeitar e aprender a tradição local. Na África, nada substitui a potencialidade da palavra oral. Essa priorização da oralidade fez com que a história africana fosse relatada e contada por viajantes de outros povos, que colocavam sua opinião própria diante de uma cultura distinta (Faria, 2014).

Dentro desta lógica, esses relatos dos viajantes permitiram a identificação das técnicas construtivas e organizações sociais que eram conhecidas pelos escravos africanos e aquelas que foram utilizadas nas suas construções no Brasil (Faria, 2014). Assim, o objetivo deste artigo é tratar das relações arquitetônicas existentes entre o Brasil e a África, considerando-se um produto do nosso processo de colonização.

## 2. MÉTODO

A metodologia do artigo pode ser classificada como descritiva (Gil, 2011), baseada na análise de dados secundários, tais como: legislações, artigos e livros, conforme Figura 1. Ainda, a busca dos documentos foi realizada, em base de dados de acesso aberto (Google Acadêmico).

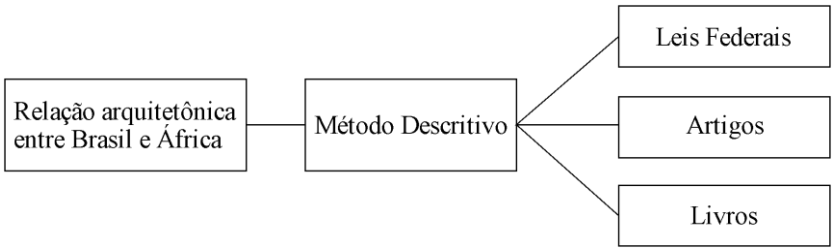



Figura 1. Desenho metodológico da pesquisa
Fonte: Autores, 2019

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dessa pesquisa, entram em um dos tópicos mais esquecidos e difíceis da história da arquitetura brasileira. O registro da contribuição das populações africanas no Brasil é escasso. Contudo, pode-se estabelecer uma relação arquitetônica muito pertinente entre os dois lados do oceano atlântico. Para isso, analisou-se o contexto africano vinculado ao contexto brasileiro, considerando a época da colonização e escravatura, bem como seus povos tradicionais, suas técnicas construtivas e como isso refletiu nos povos quilombolas brasileiros.

### 3.1 As Áfricas

Com área 1,7 vezes maior que a da América do Sul e vastas áreas desérticas, o continente africano possui uma população 2,3 vezes maior que o subcontinente sul-americano. Com 54 países, o continente é dividido em dois, sendo eles: África Subsaariana e África Mediterrânea (Weimer, 2008; Onditi et al., 2019).

A África Mediterrânea é detentora de população de cútis branca, de origem do oriente próximo - atualmente parte do Irã parte da Turquia, Síria, Líbano, Israel, Egito, ocupam a parte meridional e ocidental do Saara e toda a costa mediterrânea. Apesar de pertenceram ao mesmo continente, as duas áfricas possuem características totalmente distinguíveis entre si.

A África Subsaariana ocupa as regiões do Vale do Nilo, além das partes leste e sul do Saara. Com uma população mais negra, é dividida, etnograficamente, em oito linhagens: o nilotas, conhecidos pelos estudos do Egito Antigo, ocupam uma faixa do alto do Rio Nilo; os hamitas, que ocupam o chifre africano; os nilotas-hamitas que se encontram na área dos grandes lagos na África central; os sudaneses, que ocupam grande parte do Saara; os pigmeus, encontrados na floresta tropical; os bantos, maior grupo em número de integrantes, que ocupam a região abaixo da floresta tropical; os koikoi ou hotentotes, ocupam o sul africano; e os san ou bosquímanos, que estão no sul da Angola e ao norte da África do Sul (Weimer, 2008).

### 3.2. Os povos e a arquitetura

O Brasil teve três ciclos de entrada de negros, o ciclo da Guiné (século XVI) que se estendeu para o ciclo da Angola (século XVII) e pelo ciclo da costa da mina do golfo de Benin (século XVII, até 1875), a última fase terminou em 1856 (Pereira, 2011). Originário de Moçambique e Angola, o povo banto foi o que veio em maior número para a região sudeste do Brasil. Outro povo, que também, teve um papel importantíssimo na formação do povo brasileiro, foram os sudaneses, originários de Benin, Nigéria e Níger, vieram para o nordeste brasileiro, mais precisamente no sul baiano.

As tipologias arquitetônicas africanas podem ser divididas em três parte distintas, com ênfase de análise no território africano, levando em consideração o clima: o norte, o centro e o sul. No norte encontramos solo seco com bolsões de água, onde é possível retirar argila, por isso há um número maior de casas cilíndricas, com coberturas de palha (Figura 2). O centro é considerado de clima úmido pela existência das florestas africanas que oferecem tábuas de madeira de qualidade para construção de taipas para paredes, necessitando casas com plantas quadradas ou retangulares. E, as coberturas são substituídas por folhas de palmeiras encontradas nas florestas (Figura 3). Em ambas tipologias, prevalecem uma organização espacial para uma melhor circulação de ar.

Umas das características da arquitetura africana são os assentamentos familiares em forma de *kraals* (Figura 4). Um *kraal* é constituído por um terreno cercado com várias cubatas - construção que abriga uma só atividade, como uma cozinha, dormitório, sala de trabalho, celeiro, sanitários. O assentamento possuía apenas uma única entrada, onde a construção principal é destinada ao "chefe". As atividades realizadas dentro de um *kraal* era, na sua maioria, ao ar livre. Havia um local específico destinado às plantações e animais (Weimer, 2008).



Figura 2. Casa-pátio Musgo
Fonte: Weimer, 2008

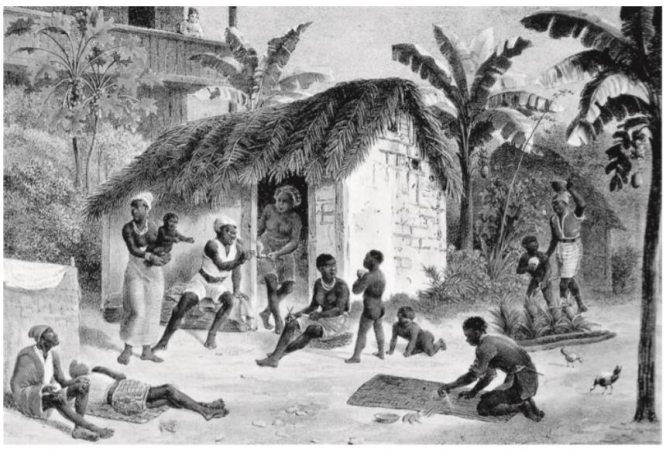


Figura 3. Habitação na área central, Johann Moritz Rugenda
Fonte: Johann Moritz Rugendas, 1835 apud Faria e Rezende, 2014

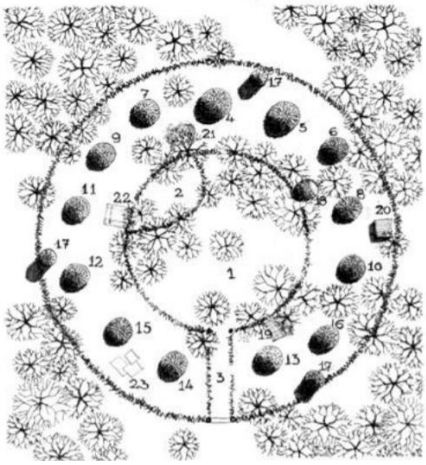


Figura 4. Kraal do sul de Moçambique
Fonte: Weimer, 2008.

### 3.2.1 Os sudaneses

Devido ao contato com as várias populações da África Mediterrânea, os sudaneses são conhecidos como o mais ‘‘desenvolvido’’ de todos os povos africanos e, com isso, suas tipologias arquitetônicas tornam-se inúmeras devido à variedade de ecossistemas onde habitam. Os aldeamentos sudaneses são conhecidos como tabancas, e são considerados mais complexos que os aldeamentos dos bantos por serem mais antigos. Junto com as habitações, os sudaneses tinham como costume cultivar “bosques sagrados” nas periferias das aldeias, os quais são refletidos posteriormente no Brasil em forma de “terreiros”.

Os *kraals* sudaneses apresentavam tabancas com uma organização interna com um zoneamento de usos. Quanto mais próximas as *tabancas*, maior individualidade de cada *kraal*, fato que reflete posteriormente na organização das cidades sudaneses (Figura 5), formadas através da justaposição de *tabancas* (Weimer, 2008).



Figura 5. Planta de parte da cidade de Ilesha, Nigéria
Fonte: Weimer, 2008

### 3.2.2 Os bantos

Considerado como o maior grupo de toda a África, os bantos povoam mais da metade do continente africano. A característica arquitetônica banta predominante são as cubatas redondas, com coberturas cônicas. Como nos *kraals* sudaneses, a cubata era destinada para um único espaço interno denominado “osala”. Cada *kraal* nascia através da estrutura poligâmica familiar. Um conjunto de famílias bantas ou *kraals* bantos, formavam um “kilombo”.

As cidades bantas (Figura 6), resultavam na justaposição de vários quilombos. Como a organização tanto dos *kraals*, como dos quilombos, eram setorizadas pelos habitantes de uma só tribo, materializou-se as avenidas grande e largas que serviam para dividir os setores, formando diversos quarteirões (Weimer, 2008).



Figura 6. Ponta da Ilha, Ilha de Moçambique.
Fonte: Weimer, 2008.

### 3.3 As Áfricas no Brasil

Grande parte da identidade cultural desses povos foi perdida, devido a emigração forçada para a América. Os bantos, sudaneses, ganguelas, quimbundos se tornaram em meros "negros" ao pisarem em solo brasileiro (Weimer, 2008). O contato com uma cultura totalmente diferente das africanas, fez com que as novas organizações afro-brasileiras tivessem que criar um modo bastante diferente das tradicionais. Com isso, adquiriram características arquitetônicas peculiares: homogeneização pela destribalizarão dos povos emigrados; a família poligâmica deu lugar à monogamia; as diversas culturas regionais africanas tiveram que se adaptar a um meio multicultural; a religião se consolidou como principal suporte da africaneidade (Weimer, 2008).

Ao contrário de que muita gente pensa, os quilombos brasileiros eram, aldeias bem mais planejadas do que muitas vilas ou cidades brasileiras (Figura 7 e 8). Com quilombos que chegaram a ultrapassar os mil habitantes, a organização era baseada em um regime cooperativista, com estabelecimento de regras rígidas e democráticas desde arruamento até na organização dos traçados das fileiras de casas, conforme topografia do terreno, posição do sol e vento. Características nítidas do planejamento urbano das cidades e quilombos bantos na África. Assim, como de costume africano, cada cubata possuía uma única atividade, nos mocambos em terras brasileiras cada um possuía sua atividade, como casa do conselho, igreja e, assim como nos *kraals*, possui uma área destinada para espaços para lazer e roças (Aguiar, 1952 apud Pereira, 2011). Muito comum no Brasil, mas também na Angola, a localização dos quilombos em planaltos ou colinas, sempre próximos a rios. São comunidades, geralmente, constituídas de camponeses livres, que cultivam a terra.

As variedades de culturas da linhagem banta trouxeram na sua readaptação uma forma de aldeia conhecida como "sanzala", formado por uma rua principal em cujos os lados se agrupam em forma de fila, as numerosas "cubatas" que a integram. A ordenação de residências que são justapostas em fila seguia regras de separação, dos diversos clãs existentes (Weimer, 2008).

Esses cativos bantos e sudaneses teriam recriado no Brasil várias técnicas de construção empregadas em seu país de origem, como o uso de paus de forquilha para a sustentação da cobertura, a adoção das formas retangulares para as cubatas, com teto de duas águas. A cabana não era considerada local de moradia, mas apenas o local do sono ou de abrigo contra variações climáticas, o habitar se desenrolava no entorno da cabana e não no seu interior (Weimer, 2008).

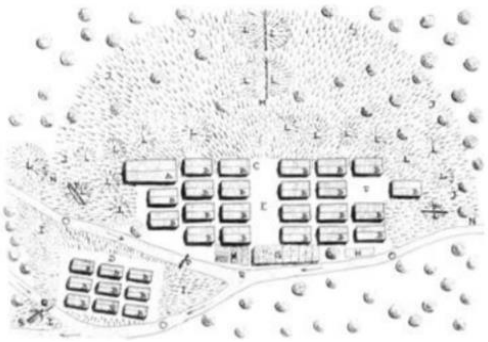


Figura 7. Quilombo do Buraco do Tatu, em Itapuã, Salvador Bahia, século XVIII
Fonte: Weimer, 2008

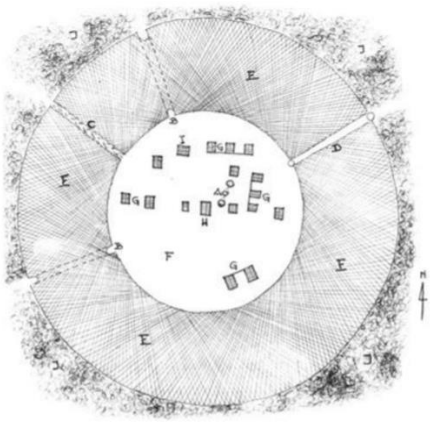


Figura 8. Quilombo de São Gonçalo, Minas Gerais, século XVIII
Fonte: Weimer, 2008

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para compreender as influências africanas no Brasil, necessita-se de estudos densos sobre as condições de vida e concepções socioculturais da matriz africana. Todo emigrante que entrou no país, e ainda entra, traz consigo uma bagagem cultural, que difere da que se encontra em território brasileiro. Do mesmo modo que, as heranças culturais europeias e asiáticas, as africanas têm papel importante para a história do Brasil.

O continente africano sempre foi pouco estudado, especificamente ao que se refere à arquitetônico e ao urbanístico num contexto global. Antes das explorações iniciais da África, falava-se em grandes impérios e poderosas cidades escondidas no interior de gigantescas florestas ou ás margens dos desertos. As magníficas cidades, que anteriormente eram relatadas com grande entusiasmo, após a visão europeia, tornaram-se apenas conjuntos de cabanas ou até negadas como inexistentes. Não se deve admitir que a participação dos negros no Brasil seja limitada, apenas aos meios musicais e em algumas modalidades esportivas. É importante reconhecer e conhecer esses antepassados das tribos africanas e o que nos deixaram como herança, também, para a arquitetura nacional.

## 4. REFERÊNCIAS

Brasil, 2010. *Lei nº 12.228, de 20 de julho de 2010.* Institui o Estatuto da Igualdade Racial. Brasília, DF: Presidência da República. 5 Abr. 2019 <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12288.htm>.

FARIA, J. P. R. de & Rezende, M. A. P, 2014. ‘‘Inter-relações tecnológicas entre Brasil e África Ocidental’’. *Revista de História e Estudos Culturais,* Vol 11 Ano XI nº 2, São Paulo, 2014. 5 Abr. 2019 <http://www.revistafenix.pro.br/PDF34/Artigo_Juliana%20Prestes%20Ribeiro%20de%20Faria_Marco%20Antonio%20Penido%20Rezende.pdf>.

Gil, A. C., 2008. *Métodos e técnicas de pesquisa social* / Antonio Carlos Gil. – 6. Ed. – São Paulo: Atlas, 2008. ISBN 978-85-224-5142-5.

Onditi, F., Ben-Nun, G., D’Alessandro, C. & Levey, Z., 2019. *Contemporary Africa and the Foreseeable World Order*. Lixington Books, 2019.

Pereira, V. M. T. B., 2011. A herança da arquitetura africana nas comunidades quilombolas. *Anais do XXVI Simpósio Nacional de História – ANPUH*, São Paulo, 2011. 5 Abr. 2019 <http://www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1308185752_ARQUIVO_herancadaarquiteturaafricana.pdf>.

Weimer, G., 2008. Inter-relações arquitetônicas Brasil - África. Instituto Historio e Geográfico do Rio Grande do Sul, 2008. 5 Abr. 2019 <http://ihgrgs.org.br/artigos/membros/G%C3%BCnter%20Weimer%20-%20Inter-rela%C3%A7oes%20Arquitetonicas%20Brasil-Africa.pdf>.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Arquitetura:
# Urbanismo – Inserção Urbana e Infraestrutura Urbana

REALIZAÇÃO:
URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# SMART CITIES: INTELIGÊNCIA E SUSTENTABILIDADE URBANA

**Fernanda Tochetto e Vanessa Tibola da Rocha**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus II – RS 331, nº 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS.
fernandatochetto14@gmail.com; vanessarocha@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O crescimento exponencial da população gera desafios para os diferentes setores da sociedade (público e privado). E, isso exige das pessoas a necessidade de estudar novos conceitos para a educação, o transporte, a saúde e a segurança. Para isto, as tecnologias da informação e da comunicação (TICs) facilitam a administração e a criação de inovações. As Smart Cities, também conhecidas como cidades inteligentes, surgem dessas necessidade e vem sendo implantadas no contexto global, como uma resposta de planejamento urbano mais eficiente. O foco dessas cidades é unir domínios como: economia, mobilidade, governança, meio ambiente, qualidade de vida e capital humano, importantes para um caminho de urbanização com infraestrutura eficaz para o seu processo de implantação, desenvolvimento e sustentabilidade. O objetivo deste artigo é demonstrar o planejamento dessas smart cities, como estão sendo pensadas e implantadas. A metodologia da artigo é de caráter descritivo e foi desenvolvida com base na busca de dados secundários. Os resultados apresentam o caso da cidade de Curitiba, referência nacional. Por fim, smart city é um processo de cidade mais inteligente e sustentável para as pessoas viverem melhor.*

***Palavras chave:*** *cidade inteligente, tecnologia, inteligência, smart cities.*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente as tecnologias crescem e se modificam, e com uma velocidade jamais vivenciada pela sociedade. Devido a essas tecnologias, as cidades e suas administrações públicas tem apresentado melhor controle da gestão da mobilidade, do recolhimento de resíduos entre outras funções (Farias e Alencar, 2011).

Tudo isso só é possível, com o auxílio das TIC's (Tecnologia da Informação e da Comunicação). Segundo Ruschel (2016), para entender as TIC's demanda-se a compreensão dos sistemas que intermediam e interferem os processos informacionais que são classificados como: hardware, software e sistemas de comunicações.

O hardware permite a entrada de dados, armazená-los, processá-los e fazer a comunicação ao computador. Já o software são instruções que são passadas ao computador para realização de uma tarefa. Esses conceitos são extremamente importantes, para entendermos o funcionamento de uma *smart city*, pois este é o ponta pé inicial para o seu desenvolvimento (Ruschel, 2016).

O Brasil, segundo dados do IBGE (2010), é um país em desenvolvimento e 6% da população brasileira vive em favelas (áreas subnormais). Neste contexto, o desafio do planejamento urbano no século XXI é integrar diferentes realidades, culturas, sociedades, ideologias e tecnologias. Assim, quanto maior o crescimento das cidades amplia-se, também, essas demandas crescem.

A implementação de *smarts cities* torna-se uma medida necessária as cidades globais, conforme a afirmação de:

> "Duran e Perez (2015), entendem que, em todo o mundo, está crescendo a implementação do modelo de cidades inteligentes com desenvolvimento sustentável, conceito orientada a aperfeiçoar o investimento social, o capital humano, comunicações, infraestrutura, assegurando a sinergia entre cada um dos elementos que o compõem."
>
> (Duran e Perez, 2015 apud Kobayashi et al, 2016, página 79).

A base para uma construção sustentável é uma infraestrutura com tecnologias inteligentes, onde as informações serão processadas por meio de uma transmissão de dados. Com o exemplo de Curitiba, uma cidade que não foi pensada como *smart city*, mas sim adaptada, que se destaca por seu planejamento urbano de qualidade. Onde sua reestruturação facilitou a mobilidade urbana e a utilização de transportes públicos. Além disso, é evidente a preocupação, da gestão

pública com a sustentabilidade urbana pela presença de grandes espaços de lazer ao ar livre e com vegetações preservadas e mantendo sua cadeia de comunicação atualizada e eficiente (Richter, 2018).

Curitiba é uma cidade brasileira, que se localiza na cidade do Paraná que, segundo o site oficial da cidade, foi fundada inicialmente como: Vila de Nossa Senhora dos Pinhais. A mudança de rotina da cidade e também do seu nome deu-se em 1971 com a chegada de Raphael Pires Pardinho, o ouvidor. Na época determinou que a população tivesse mais cuidado e preservação com a natureza, delimitando também o corte de árvores, sendo a primeira autoridade a se preocupar com o meio ambiente e assim deu-se início a tradição de preservação, a qual a cidade é conhecida internacionalmente. Em 1853, quando o estado do Paraná conseguiu emancipação, Curitiba tornou-se capital. O significado do seu nome é de origem Guarani, linguagem dos primeiros habitantes do território: kur yt yba quer dizer "grande quantidade de pinheiros, pinheiral."

O objetivo deste artigo é demonstrar o planejamento dessas smart cities, como estão sendo pensadas e implantadas.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é de caráter descritivo desenvolvido com base na busca de dados secundários, baseada em artigos científicos, sites, livros e bibliografias conforme a Figura 1.

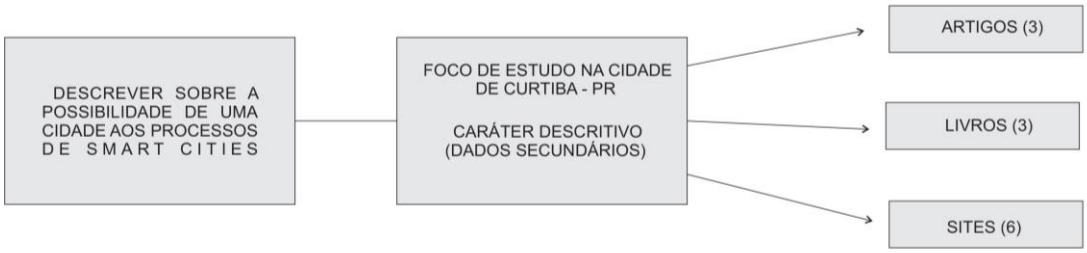



Figura 1. Desenho metodológico
Fonte: Autores, 2019

## 3. RESULTADO E DISCUSSÕES

O objetivo do novo conceito de cidades, smart cities, deve mudar de vez com a maneira de "viver" em uma cidade. Isso porque, o processo deverá ser melhorado e mais informatizado. O avanço das tecnologias, deve favorecer o desenvolvimento da vida urbana, proporcionando fácil mobilidade, espaços comuns e principalmente sustentabilidade para as cidades que devido à grande demanda de construções, acaba por apresentar (na maioria dos casos) falta de área verde.

Sengundo Gehl (2017), é preciso que haja espaço para andar sem interrupções e sem obstáculos, para que a caminhada seja agradável para as pessoas. E que geralmente essa condição deveria estar em uma área rara nas cidades, que é área exclusiva para pedestres – calçadas. No entanto, as pessoas encontram muitos obstáculos e dificuldades que são incorporados no caminho do pedestre, são esses: postes, iluminação, parquímetros, e todos os tipos de aparelhos que são inserido nas calçadas, além de carros estacionados nas calçadas, bicicletas, e também anúncios. Onde os pedestres necessitam desviá-los para seguir seu trajeto.

Gehl (2017) ainda reforça, que o potencial para uma cidade segura é quando várias pessoas se movimentam por ela e permanecem nos espaços urbanos, é preciso ter uma cidade que possua estrutura para as pessoas andarem a pé e que as convide à utilizar o espaço. Isso aumenta as atividades e o sentimento de segurança dentro do espaço urbano. Nesse sentido, Curitiba é considerada uma das cidades mais verde do país, pode-se encontrar diversos parques, que proporcionam contato com a natureza e o ‘‘encontro’’ entre as pessoas.

È possível observar a qualidade dos pontos de ônibus da cidade de Curitiba nas Figuras 1 e 2. Possuindo um espaço coberto o qual evita que, em dias de chuvas as pessoas se molhem com os respingos trazidos pelo vento, além de barrá-lo parcialmente, assim melhorando o conforto térmico de quem espera o transporte. Muitas cidades não possuem paradas de ônibus cobertas e na sua grande maioria estão depredadas. Percebe-se que os cidadãos possuem a consciência de preservação do espaço público, na medida em que o mesmo apresenta boas condições de uso.




Figura 1. Parada de Ônibus – Curitiba/PR
Fonte: Autores, 2019

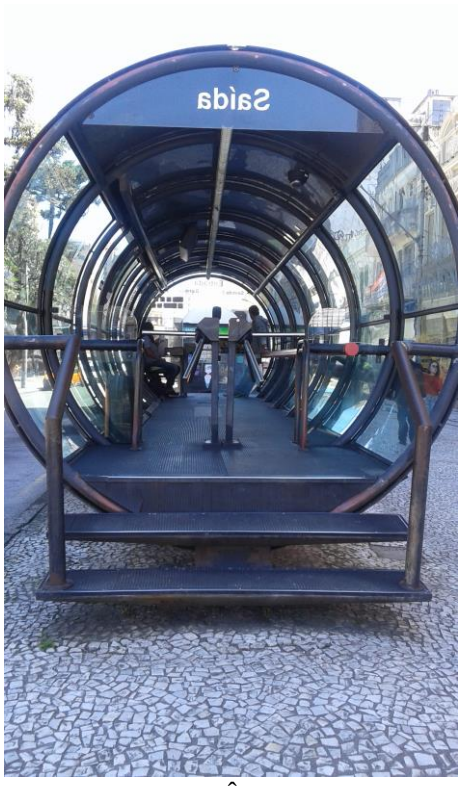



Figura 2. Parada de Ônibus – Curitiba/PR
Fonte: Autores, 2019

Outro aspecto importante é atratividade do transporte público e isso é possível por que os usuários se sentem seguros no espaço urbano e nos meios de locomoção pelo mesmo oferecidos.

Segundo Gehl (2017), o sistema de transporte que se dá pela "mobilidade verde" por meio de bicicleta, a pé ou pelo transporte público, torna uma cidade sustentável fortalecida, reduzindo o consumo de recursos, limitando as emissões e diminuindo ruídos. Outro aspecto importante é atratividade do transporte público e isso é possível quando os usuários se sente seguros no espaço urbano e nos meios de locomoção pelo mesmo oferecidos.



Figura 3. Espaço com vegetação – Curitiba/PR
Fonte: Autores, 2019

Assim como as paradas de ônibus, os parques e ambientes como por exemplo o Jardim Botânico, demonstrado nas Figuras 3 e 4, são referência na cidade e que atraí muitos turistas, os parque Tanguá (Figura 5), Barigui, Bosque Alemão, Lago Azul e entre outros, e também diversos bosques, contabilizados pela Secretaria Municipal do meio ambiente da cidade são cerca de 29 (vinte e nove) parques e bosques, os quais são áreas verdes importantes para a cidade de Curitiba, seus habitantes e visitantes.



Figura 4. Jardim Botânico – Curitiba/PR
Fonte: Autores, 2019



Figura 5. Parque Tangua – Curitiba/PR
Fonte: Autores, 2019

Segundo Leite (2012), é essencial para uma cidade inteligente e sustentável o pensamento e desenvolvimento direcionado à diversos aspectos (Figura 6),

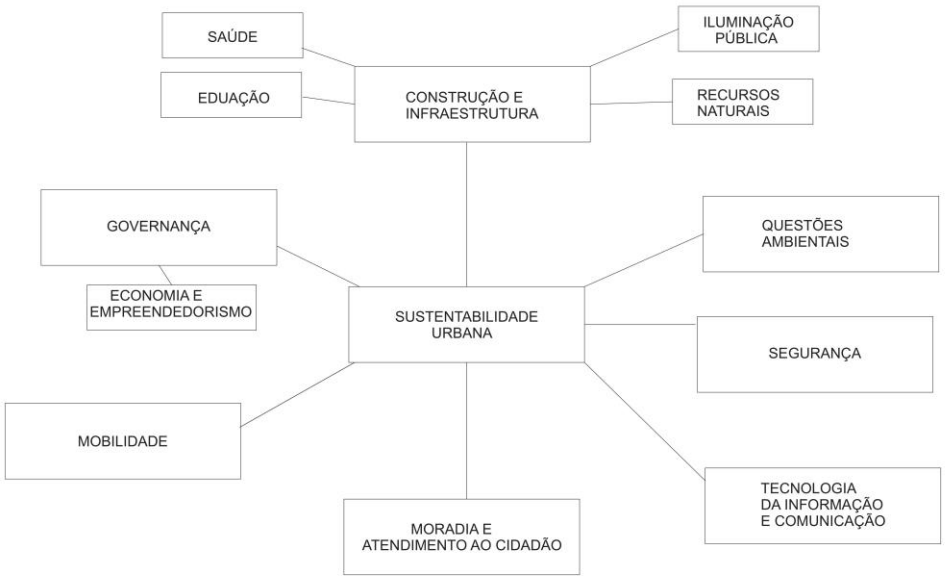



Figura 6. Mapa mental para a sustentabilidade das cidades
Fonte: Adaptado de Leite (2012)

Para elaborar e otimizar é necessário entender o mapa mental, é necessário entender os aspectos de cada item e sua funcionalidade, acordo com o site Smart Cities Brasil (http://www.smartcitiesbrasil.com.br/).

Construções e Infraestrutura: é necessário pensar em novas soluções para o bom atendimento na saúde pública e pensar na gestão conforme a demanda assim otimizando a produtividade. Implementar novos modelos de participação cidadã, manter a transparência na gestão pública e também não esquecer de implantar soluções inovadoras para educação com dados unificados onde irá gerar informações essências para gestão.

Governança: Para uma boa governança, é indispensável o entendimento dos administradores da cidade, entender e inteirar-se sobre as TIC's e o planejamento de uma cidade, com uma gestão pública onde os dados e informações de um tecido urbano inteligente e em tempo real. Também implantar planos de incentivo a ciência, inovação, tecnologia e projetos sociais.

Mobilidade Urbana: A mobilidade é um item essencial no planejamento urbano, por isso é necessário novas soluções de mobilidade com gestão em tempo real e programação dinâmica, integração de dados e análise de impactos e otimizar custos, sustentabilidade e tempo.

Moradia e atendimento ao cidadão: Para um planejamento urbano eficaz, é necessário que todos tenham direito a moradia e saneamento, condições mínimas para que um ser humano consiga viver, evitando assim pessoas em situações de riscos e vivendo nas ruas, além de trazer dignidade e qualidade de vida as pessoas que necessita. Um bom atendimento ao cidadão contribui para a contabilização dos dados, ajudando na gestão e eficácia do governo em conseguir suprir as necessidades de todos.

Questões Ambientais: Quando falamos em smart cities temos que também pensar nas questões sustentáveis, além da preservação de parques, áreas verdes, é necessário incentivar os cidadãos a praticarem o consumo consciente, além de implantar modelos inovadores de gestão de energias no uso de fontes renováveis.

Segurança: Atualmente, este é um item muito precário em algumas cidades, a falta de segurança dificulta a mobilidade urbana, já que as pessoas preferem sair com seus veículos pela vulnerabilidade de andar a pé ou de bicicleta por exemplo, isto ocorre também nos transportes públicos. Então é necessário implantar dados que integram dados e informações com os órgãos competentes do sistema de segurança pública, câmeras de monitoramentos com imagens e sons de alta qualidade, contagem de fluxos, densidade e a direção de pessoas.

Tecnologia da Informação e comunicação: Este item é um dos principais na criação/adaptação de uma smart city, sem ele não é possível atender os itens acima, é através das TIC's, que podemos gerenciar e compatibilizar uma cidade as necessidades para um bom planejamento, isto pode ser através de: Aceleração de processos de uso de dados, compartilhamento de recursos computacionais, avaliação e desempenho de infraestrutura e através de modelos inovadores pode-se obter soluções em curto prazo e baixo custo.

Através das tecnologias da informação e da comunicação, pode-se obter resultados satisfatórios para o planejamento urbano. Isso porque, seus objetivos são investimento social, capital humano e infraestrutura de qualidade. Curitiba está investindo neste conceito e, inclusive, sedia o Congresso Mundial Smart City Expo, que celebrou sua segunda edição, debatendo assuntos importantes para o desenvolvimento das cidades. No ano de 2019 o evento alcançou cerca de 6.000 visitantes, em 13 conferências, 85 palestrantes e moderadores, onde teve 40 países representados e 80 cidades brasileiras participantes. O Quadro 1 descreve os eventos já realizados.

| Nome e local do evento | Tema e data do evento | Link de acesso ao site do evento |
|---|---|---|
| SMART CITY – EXPO CURITIBA CIDADE DE CURITIBA-PR.<br>De 21 e 22 de março de 2019. | Congresso voltado para as cidades inteligentes. Onde pesquisadores e representantes mundiais, se reúniram atrás de conhecimentos e discussões sobre o assunto.<br>Viabilidade Tecnológica para cidades inteligentes;<br>• Governança em Sociedades Digitais;<br>• Cidades Criativas, Sustentáveis e Humanas<br>• Planejando cidades inovadoras e inclusas. | Smart City Expo Curitiba. Disponível em: https://www.smartcityexpocuritiba.com/ acesso em: 05 abr. 2019. |
| SMART CITY – EXPO CURITIBA CIDADE DE CURITIBA-PR.<br><br>De 28 de fevereiro a 01 de março de 2018. | Congresso voltado para as cidades inteligentes. Principais temas:<br>• Tecnologias Disruptivas<br>• Governança<br>• Inovação digital e Desenvolvimento Econômico.<br>• Cidades Futuras Sustentáveis. | Smart City Expo Curitiba. Disponível em: https://www.smartcityexpocuritiba.com/ acesso em: 05 abr. 2019. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Leite (2012) descreve que, o desafio de uma cidade é deixar a qualidade de vida em um patamar elevado ao lado do crescimento, da sustentabilidade e da inteligência. Integrando os territórios que não são formalizados ao conjunto das cidades, olhando de cima para baixo. Ainda, o mesmo autor, considera como grandes desafios de uma cidade: as questões ambientais, de mobilidade, moradia, segurança e exclusão.

As TIC's têm como objetivo melhorar a qualidade de vida das pessoas, além disso a cidade tende crescer economicamente e socialmente. As TIC's estão presentes em uma smart city, um exemplo de seu uso é mobilidade urbana. Onde através de aplicativos, facilitam o processo de locomoção das pessoas, com segurança, por exemplo: Uber, blabla car e também aplicativos que indicam horário de ônibus coletivo.

Para Boechat (2015), a implementação de tecnologias está sendo muito adotada, já que é uma forma mais rápida de

melhorar o problema de mobilidade. As cidades dificilmente conseguem acompanhar seu crescimento acelerado, não tendo infraestrutura e os serviços adequados. Quanto fala-se das TIC's na mobilidade urbana, não se restringe apenas em aplicativos, já que mobilidade é um assunto amplo. Então, além disso podemos citar: sistemas inteligentes de transporte, semáforos inteligentes, radares, lombada eletrônicas, contadores de fluxo, câmeras de monitoramentos, gps, entre outras.

Segundo Farias et al. (2011), para implantar cidades inteligentes é preciso de um planejamento e gestão nas operações dos equipamentos, as TIC's disponibilizam serviços em dezenas de países e facilitam o monitoramento de diversas variáveis direcionadas ao planejamento urbano. Para Kobayashi (2016), as tecnologias da informação e desenvolvimento das cidades tem o intuito de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

## 1.1 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo busca contribuir, com discussões sobre o conceito de smart city. Os resultados do artigo descrevem o caso de Curitiba, no Paraná – um cidade que foi adaptada ao conceito smart city. Nota-se ainda, a importância das Tecnologias da Informação e Comunicação para o desenvolvimento urbano, alcançando melhor mobilidade, segurança e sustentabilidade.

A cada dia as tecnologias, as informações e conceitos se renovam, assim como as necessidades da população, se as cidades não se adaptarem e se renovarem, vivenciaremos cada vez mais o caos urbano. Portanto, é de extrema importância que cada governante procure entender o fluxo de sua cidade e adaptar-se de acordo com as necessidades da mesma e seus habitantes.

## 5. REFERÊNCIAS

Braida, Frederico (Org.), 2016. "101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital." São Paulo: ProBooks, 2016. 256 p. ISBN 9788561453503.

Ritcher, J. B., 2018."Cidade Inteligente: O Que Podemos Aprender Com Curitiba". Disponivel em <http://richtergruppe.com.br/cidade-inteligente-o-que-podemos-aprender-com-curitiba/ Acesso em: 2019-03-21.

Ewerton P. De Farias, José et al, 2011." Cidades Inteligentes e Comunicações". **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 28-32, ISSN 2237-5104. Disponível em doi: 10.12721/2237-5112.v01n01a06. Acesso em: 2019-04-05.

Gehl, Jan, 2017. "Cidades para pessoas". 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017. 262 p. ISBN 9788527309806.

It Forum 365. "10 razões que fazem de Curitiba cidade mais inteligente". Disponivel em: <https://itforum365.com.br/10-razoes-que-fazem-de-curitiba-cidade-mais-inteligente- o-brasil/>. Acesso em: 2019-04-05..

Kobayashi,A. R. K; Knies, C..T; Serra, F. R. et al, 2017. "Smart Sustainable Cities: Bibliometric Study Patent Information*"*. Interntional Journal of innovation. (IJI Journal), São Paulo, v. 5, n. 1, pp. 77-96, Disponivel em:< www.journaliji.org/index.php/iji/article/view/159/pdf> . Acesso em: 2019-04-05.

O Povo Online. Disponivel em: https://www20.opovo.com.br. Acesso em: 29 ago. 2019.

Leite, Carlos, 2012. "Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano." Porto Alegre: Bookman, 2012. 264 p. ISBN 9788577809653.

Smart City Expo Curitiba. "Smart city Expo Curitiba".Disponivel em:<https://www.smartcityexpocuritiba.com/> acesso em: 2019-04-05..

Smart Cities Brasil. "Smart Cities Brasil" Disponivel em: <http://www.smartcitiesbrasil.com.br/>.Acesso em: 2019-08-29.

Boechat L, 2015. "Tecnologias Inteligentes de Mobilidade Urbana no Brasil". Disponivel em: <https://techinbrazil.com.br/tecnologias-inteligentes-de-mobilidade-urbana-no-brasil>Acesso em: 2019-09-01.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ÁREAS VERDES: DO PLANEJAMENTO URBANO À QUALIDADE DE VIDA

**Helen Balestrin**
**Vanessa Tibola da Rocha**
**Raiane Luiza Balestrin Bez**
**Alana Saccomori Giesel**
**Fernanda Gauer**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
helenbalestrin@hotmail.com, vanessarocha@uricer.edu.br, raianebbez@gmail.com, alanagiesel@gmail.com, gauerfg@gmail.com.

***Resumo:*** *Espaços planejados significam espaços que integram amigavelmente o homem e o ambiente construído. As pessoas vivem a era da necessidade de opções tecnológicas, rápidas e de fácil acesso. E, tudo isso, têm deixado o homem que habitou selvas de pedra distante do contato direto com a natureza. Diante disso, é necessário que o atual desenho e pensamento em relação ao planejamento urbano considere alternativas verdes que integrem o homem e a natureza. Assim, o presente artigo tem como objetivo principal descrever a importância das áreas verdes para o planejamento urbano e a qualidade de vida das pessoas. A metodologia do artigo é de caráter descritiva, baseada na análise de dados secundários. Os resultados reforçam a relevância de um bom planejamento municipal e de políticas públicas que foquem na construção de cidades mais sustentáveis, verdes e humanas.*

***Palavras chave:*** *planejamento urbano, sustentável, áreas verdes.*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente as cidades necessitam contribuir para a melhor qualidade de vida de seus habitantes. Diante disso, é de suma importância que existam cada vez mais espaços urbanos bem planejados, com desenho espacial adequado e áreas públicas verdes. E, tudo isso, deverá ter como resultado a integração entre meio urbano e natureza (Nucci, 2008, apud Londe, et al. 2014).

Segundo Leite (2012), uma cidade planejada para a atualidade é uma cidade consequentemente sustentável. Neste contexto, seus habitantes possuem uma boa qualidade de vida, proporcionada por: interação com o ambiente construído e a natureza; segurança pública e senso de comunidade. Além disso, o conforto organizacional do ambiente urbano (qualidade do ar, permeabilidade do solo e redução das temperaturas) assegura o bem-estar dos indivíduos.

Nesse contexto, não é impossível falarmos sobre ambientes urbanos saudáveis, sem antes falarmos da necessidade das cidades apresentarem imponentes parcelas de espaços arborizados. A existência de áreas de lazer, tais como: praças, parques, hortas e calçadas arborizadas, tem se tornado uma das principais reivindicações da sociedade, justamente porque esses locais são associados à presença do verde e da oportunidade de encontro (Gomes et al., 2003).

Cidades mais verdes, são aquelas que, desenvolvem uma ponderada ligação entre ambiente construído e a geografia natural, harmonizando áreas verdes, água e o meio urbano (Leite, 2012). Diante disso, o objetivo do artigo é descrever a importância das áreas verdes para o planejamento urbano e a qualidade de vida das pessoas.

## 2. MÉTODO

A metodologia do artigo pode ser classificada como descritiva, baseada na análise de dados secundários, conforme Figura 1.




Figura. Desenho metodológico da pesquisa
Fonte: Autores, 2019

## 3. A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS VERDES PARA O ESPAÇO URBANO E A QUALIDADE DE VIDA DAS PESSOAS

De acordo com Maropo et al. (2019), com o passar dos anos há conscientização sobre as catástrofes ambientais que a população está enfrentando, principalmente quando se refere a população urbana. Nossas cidades estão entrando em um ciclo vicioso de criação de problemas ambientais e sofrendo gradativamente as consequências de processos ineficientes e de escolhas diárias não sustentáveis.

Nesse contexto, muitos são os obstáculos enfrentados pelas cidades brasileiras, dentre esses, os que refecem maior ênfase: o crescimento contínuo e desordenado das cidades, seguidos da negligencia quanto as solicitações de desenvolvimento de composições arbóreas em vias e locais públicos. Os quais, se implantados refletem diretamente no microclima urbano e consequentemente na qualidade devida dos habitantes dos centros urbanos Bernatzky (1982, apud Pinheiro et al., 2017).

Vale lembrar que para termos áreas verdes urbanas de qualidade, precisamos direcionar o nosso pensamento também a preocupação de como esses ambientes serão mantidos e preservados. Mazzei et al. (2007) ressalta que o manejo das áreas tidas como preservação não sendo necessariamente urbanas possuem aspectos definidos ainda na tua criação, adequadas a casa unidade. Ainda é muito pouco discutido o fato de não se definir qual é o tipo de área verde urbana e qual a necessidade de conservação que a mesma demanda. De modo geral os estudos publicados abrangem parques, estações ecológicas, reservas biológicas, dentre outras. Essas áreas possuem em comum a dificuldade de um gerenciamento do seu manejo e de um programa adequado de sua proteção, envolvendo uma fiscalização adequada, para que não haja uso clandestino e irregular ou mesmo que a mesma seja integrada a áreas rurais, fugindo do controle do poder público local e desenvolvendo maiores problemas ambientais que afetem principalmente a qualidade do espaço urbano arborizado.

As áreas verdes são protagonistas na qualidade urbana e não precisam necessariamente serem voltadas para a recreação e lazer, as mesmas podem e devem possuir diversas finalidades justamente para abranger as necessidades de forma geral do espaço urbano. Porém, vale lembrar que é importante que todos os espaços verdes devem possuir infraestrutura e equipamentos de uso dos moradores que acessem de forma facilitada por distâncias curtas que possam ser percorridas a pé (Mazzei et al., 2007).

O ambiente urbano é caracterizado pela presença de espaços que não sejam cobertos por construções e que assumem diversas funções, como a oferta de luz e ventilação por entre edifícios, além de propiciar ao cidadão ocupar esses espaços arborizados no seu tempo livre, propiciando funções de recreação, educação ecológica e paisagística a cidade, além de se tonarem especiais e extremamente importantes para o convívio social (Mazzei et al., 2007).

As árvores desenvolvem um papel indispensável na promoção de um ambiente adequado, principalmente quando se referindo às questões de conforto ambiental. Elas melhoram diretamente a qualidade de vida, a partir da redução das amplitudes térmicas, amplificando as taxas de transpiração, além da diminuição de insolação direta (Lombardo, 1990, apud Pinheiro et al., 2017).

A cobertura vegetal é essencial no processo de melhoria de qualidade do ar nas cidades, proporcionando a purificação do ar. Isso porque, a vegetação absorve o gás carbônico resultante das diversas atividades humana e liberam oxigênio de para a atmosfera (Milano, 2000 apud Pinheiro et al., 2017). Ainda, os benefícios oferecidos pelas áreas verdes aos espaços urbanos são inúmeros (Figura 2) e apresentam impacto positivo sobre os mais diversificados setores.

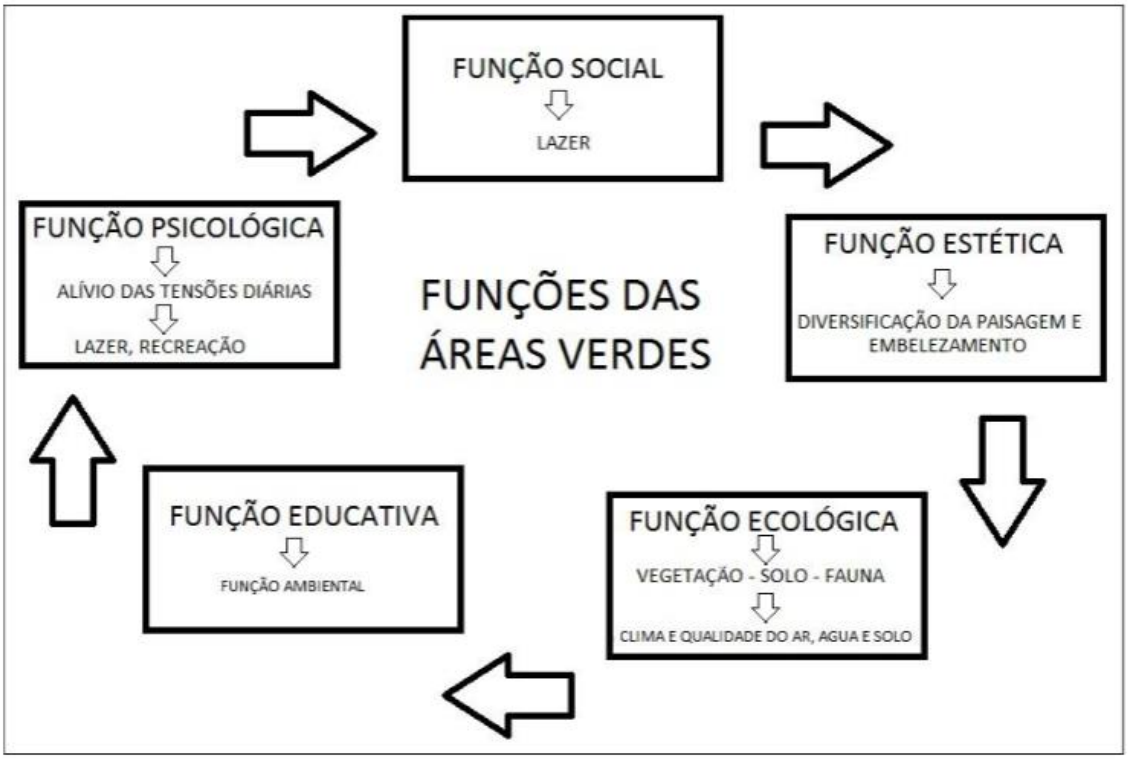



Figura 2. Funções das áreas verdes nas cidades
Fonte: Silva, 2004

De acordo com Silva (2004), é possível classificar as principais funções das áreas verdes. E, o mesmo autores segue afirmando que, o impacto positivo da presença da vegetação no espaço urbano deve estimular o convívio social, a beleza do espaço; a preservação da fauna; a educação ambiental e os estímulos de relaxamento.

Do mesmo modo em que a vegetação contribui para a qualidade do ambiente urbano, a falta da mesma (vegetação) reflete em problemas climáticos urbanos significativos, tais como: alagamentos, enchentes, ilhas de calor, entre outros. Assim, a carência do planejamento urbano adequado é reflexo direto da sua atmosfera local, criando um ambiente conflituoso entre homem e natureza. Esse afastamento do ser humano com o meio ambiente se torna nocivo à saúde pública, uma vez que o desenvolvimento de zonas urbanas resulta em desmatamento das áreas verdes. E, ainda, a criação de aglomerados urbanos, sem nenhum tipo de projeto previamente estabelecido causa a destruição da fauna e da flora (Pinheiro et al., 2017).

Pinheiro et al. (2017) ressalta que, os benefícios do desenvolvimento de áreas verdes são significativos para o espaço urbano, e descreve alguns exemplos, tais como: barreira de redução da velocidade dos ventos; proporciona o amortecimento dos ruídos produzidos pelos centros urbanos, principalmente nas áreas onde o fluxo de pessoas e veículos é maior. Para Campos et al. (2017), quando temos a oportunidade de disfrutarmos das áreas verdes urbanas, percebemos que potencializamos a sua utilização por meio da prática de exercícios, momentos de lazer e socializações. A conservação das áreas verdes é diretamente relacionada a melhor qualidade de vida dos indivíduos, melhorando autoestima, relações sociais, aspectos cognitivos e saúde mental.

A interferência das áreas verdes é diretamente ligada a amenização de consequências negativas que a alta urbanização traz para os espaços urbanos. Ainda, os ambientes arborizados precisam ser preservados, valorizados, vistos como indicadores de qualidade ambiental urbana e projetados de acordo com suas dimensões e sua distribuição espacial (Bargos et al., 2011).

### 3.1 Ranking das 10 cidades com maiores índices de arborização no Brasil

Conforme o Ministério do Meio Ambiente (2019), conceitua-se áreas verdes urbanas como um agrupamento de áreas que compreendem cobertura vegetal, arbórea, rasteira e que são fatores significativos para o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida dos cidadãos. Diante disso, os exemplos dessas áreas verdes podem ser visualizados em áreas de preservação permanente (APP), áreas públicas, praças, canteiros, dentro outros.

De acordo Loboda (2005, apud Bargos et al., 2011), as áreas verdes desempenham inúmeras funções e benefícios para o ambiente construído. Neste sentido, a Quadro 1 descreve as funções, as características e as cidades que potencializam o desenvolvimento das áreas verdes e assim atingiram a colocação de 10 cidades com os maiores índices de arborização do Brasil segundo dados do IBGE (2019).

| **Cidade** | **Espaço** | **Funções/benefícios (ecológica, estética e social).** |
|---|---|---|
| Santa Tereza do Tocantins – TO<br><br>Fonte: G1 Tocantins, 2019. |  | • Presença de praças e áreas verdes para uso da comunidade;<br>• Cidade rodeada por mata nativa local; |
| São Raimundo do Doca Bezerra – MA<br><br>Fonte: Google Maps, 2019. |  | • Presença de lagos ao longo do perímetro urbano que possivelmente possam ser utilizados juntamente a parques;<br>• Vasta arborização com vegetação de grande porte; |
| Arraial – PI<br><br>Fonte: Meio Norte, 2014. |  | • Cidade com vegetação pouco modificada;<br>• Diversas quadras cobertas por árvores permeiam o ambiente urbano, além de vazios urbanos arborizados que permitem a utilização da população local; |
| Coivaras – PI<br><br>Fonte: Google Maps, 2019. |  | • O traçado urbano permite que haja um espaçamento grande e arborizado entre as construções e que os mesmos possam vir a serem utilizados como espaços de convívio social; |
| Paquetá – PI<br><br>Fonte: Google Maps, 2019. |  | • Cidade rodeada por mata nativa;<br>• Grandes áreas de fundos de lotes arborizados com vegetação formalizando áreas verdes para convívio público; |

| | | |
|---|---|---|
| Santana do Piauí – PI<br><br>Fonte: Prefeitura de Santana do Piauí, 2019. |  | • Grandes áreas com arborização de dimensões altas que permeiam as construções e preenchem os vazios urbanos, promovendo a melhora nas temperaturas e também nas áreas de vivências sociais;<br>• Grande área de mata rodeando a pequena cidade; |
| Algodão de Jandaíra – PB<br><br>Fonte: Blog Algodão de Jandaíra, 2011. |  | • Cidade com presença de vegetação pouco densa em função da presença de rochas, porém espalhada por toda a área urbana por entre as construções constituindo espaços para uso comum dos habitantes;<br>• Arborização nativa e de característica rasteira; |
| Joca Claudino (Santarém) – PB<br><br>Fonte: Página da Prefeitura Municipal de Joca Claudino no Facebook, 2019. |  | • Demais vias da cidade possuem uma arborização considerável;<br>• Vegetação por entre as construções, constituindo quitais verdes, além de quadras completamente livres de construções, permitindo um multiuso dessas áreas; |
| Cachoeira Dourada – MG<br><br>Fonte: G1 Triângulo Mineiro, 2015. |  | • Cidade com vegetação dispostas por entre construções e também nas suas vias, acessos arborizados incentivam que as pessoas cheguem ao seu destino caminhando;<br>• Não nota-se a existência de vazios urbanos, pois os mesmos são completos por árvores. |
| Ipiaçu – MG<br><br>Fonte: Blog Olhando da Janela do Trem, 2018. |  | • É perceptível que o centro urbano é coberto por uma vegetação de grande porte, formando bosques;<br>• Os vazios urbanos são preenchidos por arborização incentivando o seu uso pelos moradores locais. |

Quadro 1. As 10 cidades mais verdes do Brasil, conforme dados do IBGE
Fonte: Elaborado pelos autores (2019), conforme dados da busca descritos na primeira coluna

Conforme o Quadro 1, é possível identificar que municípios de pequeno porte possuem índices altos de arborização com maior facilidade. Isso se dá pelo fato de que nesses casos há maior presença de vegetação nativa e que ainda não sofreu alterações significativas pela intervenção urbana.

Nesse sentido, é necessário que, o planejamento urbano dessas cidades que ainda são consideradas de pequeno porte sejam estratégico e direcionado a preservação do sítio e sua vegetação. Isso para que, as mesmas se tornem espaços urbanos cada vez mais agradáveis aos seus habitantes atuais e também aos futuros. A vegetação inserida com planejamento e de forma adequada no ambiente urbano possui diversos efeitos positivos na saúde mental e física da população. Esses efeitos trazem aos habitantes uma melhor formação de memória e do patrimônio cultural, além de contribuírem para a valorização econômica das propriedades (Oliveira 1996, apud Bargos et al., 2011).

As áreas arborizadas não precisam necessariamente serem caracterizadas como parques, praças ou reservas ecológicas, a sua popularização trouxe a ampliação da sua tipologia podendo serem por exemplo hortas comunitárias que estão cada

vez mais tomando espaço nas cidades. Junto a produção de frutas, hortaliças e vegetais de cultivo local, oferecem uma ampla variedade de serviços ecossistêmicos que são essenciais para a qualidade de vida urbana. Permitem ainda, a socialização e a ampliação dos conhecimentos sobre sustentabilidade integrados à sociedade, tornando-se local onde a população se reúne para em conjunto produzir os alimentos que ali são possíveis e proporcionando momentos de compartilhamento de saberem, além do grande incentivo para que haja maior preocupação com a melhoria da alimentação que pode ser alcançada a partir do consumo dos vegetais nas hortas comunitárias (Amato-Lourenço et al., 2016).

Segundo Loboda et al., (2005), os ambientes urbanos verdes de uso coletivo estão sendo esquecidos e sendo facilmente substituídos por estacionamentos ou até espaços desocupados e distante dos cuidados municipais. Todo esse descuido reflete diretamente na qualidade da utilização dessas áreas que são essenciais para a formação de uma qualidade de vida. Vale lembrar, que áreas verdes em desuso e descuido geram insegurança para a população, tornando-se um ambiente perigosos quando deveria estar trazendo benefícios à sociedade.

De acordo com Leite (2012), as cidades não são fossilizadas e possuem uma alta capacidade de se reinventarem. Esse fato pode e deve ser utilizado ao ser favor, realizando projetos que voltem a cidade para estratégias que desenvolvam núcleos compactos, de otimização dos territórios, proporcionando o melhor gerenciamento de áreas e possíveis ampliações de espaços verdes destinados ao uso público.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As soluções para o planejamento urbano adequado e que permeie uma boa qualidade de vida para seus habitantes, são simples, mas dependem de todos os cidadãos. É preciso que se crie a cultura da utilização dos espaços verdes em todas as faixas etárias e classes sociais. Uma cidade só se desenvolve de forma positiva quando a comunidade se une para isso, quando reivindica que haja maior cuidado com as áreas verdes já existentes, ou então quando solicita que seja criada uma.

Todas as cidades podem se tornarem cada vez mais agradáveis e convidativas, as mutações são constantes e visíveis, basta que essas sejam sempre focadas na busca de melhorias e que promovam a qualidade de vida de seus habitantes.

## 5. REFERÊNCIAS

Amato-Lourenço, L. G., Moreira. T. C. L., Arantes, B. L., Silva D. F. F., Mauad, T. (2016). *Metrópoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde*. Estudos Avançados, 30(86), 113-130 <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100008>.

Bargos, C. D.; Matias, F. L. "Áreas verdes urbanas: Um estudo de revisão e proposta conceitual". *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização*, São Paulo, v.6, n.3, p. 172-188, 15 set. 2011.

Campos, Renata B., Castro, Josiane M. "Áreas verdes: Espaços urbanos negligenciados impactando a saúde". *Saúde e Transformação Social*, Florianópolis, v.8, n.1, p.106-116, 2017.

G1 – Globo. "Triângulo Mineiro: Cargos público são a principal fonte de emprego em Cachoreira Dourada". 2015. Acesso em: 01 abr. 2019 <http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2015/08/cargos-publicos-sao-principal-fonte-de -emprego-em-cachoeira-dourada.html>.

G1 - Globo. "Tocantins: Cidade de Santa Terezinha do Tocantins". 2017. Acesso em: 01 abr. 2019 < https://g1.glob o.com/to/tocantins/cidade/santa-terezinha-do-tocantins/>.

Gomes, S. A. M.; Soares, R. B. "A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras" *Revista UNESP de Estudos Geográficos*, Rio Claro, v.1, n.1, p.19-29, 29 jun. 2003

Google Maps. Google. Acesso em: 01 abr. 2019 <https://www.google.com.br/maps>.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acesso em: 30 mar. 2019 < https://www.ibge.gov.br/>.

Leite, Carlos. "Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano". Porto Alegre: *Bookman*, 2012. 264 p. ISBN 9788577809653.

Loboda, C.R.; De Angelis, B.L.D. Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. *Ambiência*. Guarapuava, PR, v.1, n.1, p. 125-139, jan./jun, 2005.

Londe, R. P.; Mendes, C. P. "A influência das áreas verdes na qualidade de vida urbana". *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, Uberlândia*, v. 10, n. 18, p. 264-272, 25 jul. 2014.

Maropo, Vivianne L. B., Morais Emilia E., Nunes, André C., Silveira, José A. R. da. "Planejamento urbano sustentável: um estudo para implantação de infraestrutura verde no Bairro Bancários, João Pessoa-PB, Brasil". urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 2019, 11, e20180005.

Mazzei, Kátia; Muno C., Marlene T.; Douglas G. dos. S.. Áreas verdes urbanas, espaços livres para o lazer. *Sociedade & Natureza*, vol. 19, núm. 1, junio, 2007, pp. 33-43.

Meio Norte. "Cidades: Vista aérea da nossa querida cidade Arraial – PI". 2014. Acesso em: 01 abr. 2019 < https://www .meionorte.com/pi/cidades/arraial/vista-aerea-de-nossa-querida-cidade-arraial-pi-298057>.

MMA: Ministério do Meio Ambiente. Acesso em: 30 mar. 2019 <https://www.mma.gov.br/>.

Olhando da janela do trem. "Ipiaçu, Minas Gerais um tesouro de belezas naturais". 2018. Acesso em: 29 ago. 2019 < https://olhandodajaneladotrem.blogspot.com/2017/03/ipiacu-minas-gerais-um-tesouro-de.html>.

Pinheiro, Clebio R., Souza, Danilo D. de. "A importância da arborização nas cidades e sua influência no

microclima”. *R. gest. sust. ambient*., v. 6, n. 1, p. 67 - 82, abr./set. 2017.

Prefeitura de Joca Claudino. 14 mar. 2014. Post do Facebook. Acesso em: 01 abr. 2019 <. https://www.facebook.com/ pg/Prefe itura-de-Joca-Claudino-1480791862145123/posts/>.

Prefeitura de Santana do Piauí. “Histórico”. Acesso em: 01 abr. 2019 < http://santanadopiaui.pi.gov.br/historico>.

Silva, André V. B. Índice de Área Verde e Cobertura Vegetal no Município de Santa Terezinha de Itaipu-PR.2014. 35f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Pós Graduação Universidade Tecnológica Federaldo Paraná, Medianeira, 2014.

Silva, Pr João Soares da. Algodão de Jandaira PB: “Minha Querida Cidade - Algodão de Jandaira – PB”. 2011.. Acesso em: 01 abr. 2019 < http://algodaodejandaira.blogspot.com/>.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL: ANTECEDENTES HISTÓRICOS

**Ivana Karine Aver**
URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Uri Campus de Erechim
Avenida Sete de Setembro, 1621, bairro Fátima.
ivanakarine@yahoo.com.br

***Resumo:*** *Este artigo apresenta, em linhas gerais, os antecedentes históricos do processo de planejamento, especialmente em nível regional, o qual iniciou a cerca de cem anos. Durante este período houve uma evolução do entendimento do conceito de planejamento, sendo que nas últimas décadas aumentou consideravelmente a análise em nível regional. Esta evolução no pensamento e na proposição de ações ocorreu também no Brasil, especialmente a partir da década de 1970, sendo que a participação da população tem aumentado nos últimos anos. Tradicionalmente, as políticas regionais adotadas no Brasil caracterizaram-se por sua formulação e implementação desconsiderarem a participação dos segmentos da sociedade civil afetados. E, por mais que suas deficiências venham se revelando evidentes, esse procedimento ainda marca grande parte das ações nas diferentes esferas da administração pública brasileira. Este trabalho faz parte da tese intitulada Desenvolvimento Regional e Dinâmicas Territoriais. (Aver, 2016) O trabalho tem por objetivo fazer um apanhado histórico do processo de planejamento urbano e regional desde suas primeiras análises até suas aplicações no Brasil ao longo do tempo.*

***Palavras chave:*** *planejamento, planejamento regional, desenvolvimento regional.*

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Lopes (1990, p. 24), o planejamento "consiste, num sentido lato, em processo que estabelece objetivos, define linha de ação e planos detalhados para atingi-los e determina os recursos necessários à consecução dos mencionados objetivos"

Para Perobelli et al. (1999) planejar, em sentido amplo, está interligado a uma determinada área do conhecimento ou de problema, como uma determinada jurisdição territorial, podendo ser um país, uma região (independentemente de sua definição), município, Estado, centro urbano, dentre outros.

Miglioli (1975, p. 9) ao se reportar ao planejamento econômico propriamente dito, o entende como "[...] um processo de orientação ou direção da economia, em substituição ao livre funcionamento do mecanismo de cercado ou como uma correção desse funcionamento. Em outras palavras, o planejamento consistiria na aplicação à economia, de modo coordenado e coerente, de determinados princípios e métodos apoiados no conhecimento científico para a obtenção de resultados previamente selecionados."

Para entender o processo do planejamento urbano e regional no Brasil, é necessário fazer um apanhado de seus antecedents históricos, conforme é apresentado a seguir.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Remonta aos anos 1920 a elaboração teórico-metodológica acerca do planejamento, o que pode ser classificado como fato recente na história social do conhecimento. O modelo, aplicado em princípio nos países socialistas, foi adotado pelos países capitalistas a partir da década de 1930 em razão da grave instabilidade política e econômica, pois as diferenças regionais na concentração do nível de emprego, da riqueza e a atividade econômica acentuaram-se com as rápidas mudanças que aconteceram na economia mundial após a Primeira Guerra Mundial e a crise de 1929/30.

Aplicado inicialmente na Inglaterra e nos Estados Unidos, o planejamento regional foi sendo difundido em outros países capitalistas devido ao fato de que a distribuição desigual dos recursos naturais, aliada às diferentes estratégias do capital territorialmente materializadas, impuseram a necessidade da elaboração de outra metodologia para a intervenção estatal: a que articulasse o regional ao nacional e vice-versa (Santana, 2009).

Esse modelo se caracterizou pelo conjunto de mecanismos voltados à racionalização da ação do Estado, capazes de prever o desenvolvimento do país e transformá-lo segundo seus interesses. O Estado passou a intervir no processo de distribuição dos elementos e fatores de produção, assim como na administração dos recursos e dos meios em função de

objetivos pré-determinados, através do qual se tornou possível mapear o desenvolvimento de um determinado país. (Cardoso, 1997)

Ao se reportar à experiência americana, Ferreira (2011) relata o ocorrido em 1933, nos Estados Unidos, com a criação do Tennesse Valley Autorithy (TVA), no governo de Roosevelt, como parte do programa New Deal (1933-1937), de recuperação da economia face à crise econômica iniciada em 1929, que tinha como metas o investimento maciço em obras públicas, a destruição dos estoques agrícolas para conter a queda de seus preços, o controle sobre os preços e a produção e a diminuição da jornada de trabalho, entre outros. Naquele momento foram criadas dezenas de agências ou autarquias, planos para a recuperação da agricultura, metas para a indústria e uma legislação direcionada para o controle do setor financeiro. Essa experiência também possibilitou realizar obras de infraestrutura vinculadas ao rio Tennessee, como a construção de hidrelétricas, rodovias, pontes, abastecimento de água e irrigação.

As políticas regionais expandiram-se por praticamente todas as nações europeias no período pós Segunda Guerra Mundial. Foi no início dos anos 1950 que diferentes países, como a França, a Itália, a Alemanha e a Bélgica consolidaram ações em busca de minimizar as desigualdades regionais existentes em seus territórios.

A primeira experiência italiana de planejamento aconteceu após a reconstrução do Estado italiano com base nas orientações do Plano Marshall, o qual foi de grande importância para o país, uma vez que o levou a capacitar-se para obter crescimento e desenvolvimento a longo prazo (Soldi, 2013).

Contemporaneamente, toda uma vertente da Economia voltada ao estudo do desenvolvimento regional sistematizou os ‘momentos marshallianos’ do desenvolvimento das aglomerações produtivas em novas categorias. O primeiro momento, é o da aglomeração. Uma vez constituída, ela tende a se desenvolver deixando de ser um mera aglomeração, e passa a ser um arranjo produtivo. E quando o arranjo produtivo toma consciência de si e coordena racionalmente o seu desenvolvimento, ele se transforma em sistema local de produção (SLP). (Paiva, 2005, p. 1,2)

Soldi (2013) ao comparar Itália e Brasil nas questões de planejamento, desenvolvimento regional e em relação ao papel do Estado, verificou que a crise econômica ocorrida na Itália passou após a Primeira Guerra. Mas, se a ascensão fascista ao poder intensificou a participação do Estado na continuidade do processo, por outro lado, fez com que o crescimento econômico intensificasse o aumento da desigualdade regional, principalmente entre as regiões Norte e Sul da Itália.

Naquele país, o ritmo de desenvolvimento distinto entre o norte e o sul resultou em um sério problema, principalmente no período de redemocratização do pós-fascismo. Em razão disso, em 1950, foi criada a Cassa del Mezzogiorno e uma ambiciosa política de industrialização para o sul da Itália. Essa política introduziu o sistema de uso de incentivos fiscais para baratear a formação de capital e da produção, o que foi assimilado e disseminado por outros países, inclusive pelo Brasil. (Aver, 2016)

Mais tarde, ao serem reavaliadas tais políticas observou-se que as dificuldades de o Sul competir com o Norte, pelo dinamismo do último, assinalou a dificuldade de superar o dualismo, o que posteriormente, foi verificado como sendo uma controvertida interpretação de que o desenvolvimento do Sul teria sido dificultado pela falta de capital (Diniz, 2009).

Quanto à experiência espanhola, ao abordarem suas principais características, Costa Júnior e Costa (2014) destacam que o país passou por profundas transformações políticas, econômicas e sociais durante o século passado, evoluindo de uma estrutura produtiva eminentemente agrária, nos anos 1950, para uma economia industrial e principalmente terciária no final do século XX. Partindo do ponto de vista territorial, essa mudança estrutural se deu de forma desequilibrada, com uma profunda migração inter-regional, afetando tanto a produtividade do trabalho quanto a renda per capita das distintas regiões.

A política econômica do governo nesse período de desenvolvimento, chamada de franquista, em razão da ditadura do General Francisco Franco (1938-1973), apresentava como principal estratégia de desenvolvimento econômico a industrialização. Os objetivos de política econômica espanhola nesse período eram recuperar a produção industrial e agrária, diminuir o desemprego agrícola e aumentar o nível de renda por habitante (Simões, 2007).

O modelo franquista, similar ao processo vivenciado no Brasil no primeiro governo getulista, caracterizava-se pela forte presença do Estado em todos os setores econômicos, marcado por quatro aspectos conjugados: o dirigismo econômico, o intervencionismo no mercado, autarquização da economia e a própria industrialização como via de desenvolvimento econômico.

Mourão (2007, p.5) afirma que “[...] o planejamento regional europeu surge com vigor definitivo a partir da década de 1970, largamente dependente da autonomia possibilitada pelos instrumentos de financiamento das competências de harmonização regional da Europa, instrumentos como o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), o Fundo Europeu de Orientação e Garantia Agrícola (FEOGA) ou os fundos de coesão.”

A diversidade de trajetórias reflete precisamente o fato de que a região possui um movimento e realidade multidimensionais. O desenvolvimento regional se expressa pela criação de recursos e ao mesmo tempo pela organização produtiva e suas condições contextuais (culturais, regras locais e convenções sociais). A combinação de elementos produtivos e das condições contextuais explica as diferentes modalidades de recursos de criações pelas regiões, fato que produz a pluralidade de trajetórias de desenvolvimento regional. Assim, para o desenvolvimento, são as peculiaridades da região, ou seja, a sua maneira de combinar as organizações produtivas e as condições contextuais. (Breitbach, 2003, p.31)

Esta nova estrutura produtiva mudou a distribuição das atividades entre as regiões. Algumas, com tradição industrial, entraram em declínio, e novas indústrias se instalaram em regiões sem tradição industrial, levando à inversão das taxas de crescimento regional e dos movimentos migratórios. (Lahorgue, 1988, p.18)

Ao falar sobre a questão da desigualdade econômica e sua influência sobre os locais, Perroux (1981, p.67) declara que não são homogêneos os espaços econômicos e os espaços sociais, e não há nenhuma indicação que o tendam a ser.

Para Paiva (2005, p. 8, 9), os países e regiões que demonstraram nas últimas décadas a vitalidade e o dinamismo de equações produtivas pós-fordistas são marcados por:

1) Uma economia mercantil pré-capitalista urbana e rural pujante;

2) um dinamismo econômico (e, portanto, um processo de acumulação e concentração de capital) truncado ao longo da segunda metade do século XIX e primeiros dois terços do século XX;

3) uma forte identidade cultural e padrões de solidariedade particularmente desenvolvidos;

4) políticas públicas ativas na defesa e articulação das micro, pequenas e médias empresas (MPMEs) de base local.

As primeiras experiências de planejamento nos países capitalistas periféricos, como os da América Latina, tiveram lugar apenas no período pós Segunda Guerra, quando cresceu a preocupação com políticas de desenvolvimento nacionais. Acreditava-se que com planejamento adequado, as economias desses países poderiam se desenvolver (Vargas; Theis, 2008).

Nas décadas de 1960 e 1970, dentro dos Planos Nacionais de Desenvolvimento, foi dada especial atenção aos polos de desenvolvimento e aos complexos industriais. Os polos de desenvolvimento são associados a grandes projetos de investimento que mantêm fortes vínculos com suas áreas de influência política, social, econômica e institucional. Já os complexos industriais consistem em conjuntos de atividades que ocorrem em determinado local e que pertencem a um grupo ou subsistema de atividades que estão sujeitas a importantes inter-relações de produção, comercialização e tecnologia (Haddad, 1989, p. 1,2).

No último quarto do século XX o tema do desenvolvimento econômico aparece, segundo Barquero (2007, p. 185), "[...] en una nueva fase del proceso de formación e integración de los mercados y la irrupción de las nuevas tecnologias de la información y de las comunicaciones, en.el centro de la reflexión teórica está, como em el pasado, la cuestión del aumento de la productividad y los mecanismos que favorecen el progreso y la transformación productiva de las economías." Ainda de acordo com o autor, em uma nova fase do processo de formação e integração dos mercados e a emergência de novas tecnologias da informação e comunicações. No centro de reflexão teórica está, como no passado, a questão do aumento da produtividade e os mecanismos que favorecem o progresso e a transformação produtiva das economias. (Barquero, 2007, p.185)

Nesse contexto, os países latino-americanos aderiram gradativamente à ideia de planejamento para a mudança, buscando a adequação à nova realidade econômica que estava sendo incorporada em diferentes países do globo. Contudo, em razão das características sócio históricas destes, os governos ditatoriais influenciaram a questão do planejamento e desenvolvimento. (Aver, 2016)

O planejamento centralizado que, com o decorrer do tempo, se torna um instrumento de repressão da democracia, em conjunto com o aperfeiçoamento de técnicas adquiridas em grande medida no pós-guerra (que havia proporcionado o uso das teorias de crescimento econômico para fortalecer o desenvolvimento), condicionam o contexto em que surge o planejamento na América Latina. Vários países do subcontinente estabeleceram antecipadamente oficinas de planejamento nacional. Sua aceitação generalizada para promover o desenvolvimento deve-se às resoluções da Carta de Punta del Este, de 1961, e de seu mecanismo principal, a Aliança para o Progresso, que condicionava a "ajuda" internacional para a preparação e implementação de programas nacionais de desenvolvimento econômico e social (Escobar, 2000; Lira, 2006 apud Vargas e Theis, 2008, p.12).

Assim, na América Latina o planejamento por vezes foi utilizado de maneira não democrática, com dirigismo estatal no cumprimento das responsabilidades do Estado para como crescimento e o desenvolvimento.

No caso específico do Brasil, Silva (2004, p.8) destaca que

> [...] el fin de la segunda guerra mundial marcó el comienzo de un período en el que se intensificaron los cambios que la sociedad brasileña sufría, a un ritmo más lento, desde lãs primeras décadas del siglo XX. Este período, que duró hasta el umbral de los años ochenta, se caracterizó por la acelerada transición estructural de una sociedad agraria tradicional a uma sociedad de clases moderna. El motor de esta transición, definida por algunos observadores como "modernización conservadora" o "excluyente", fue el rápido crecimiento económico debido a la difusión de formas de producción capitalistas en todos los sectores de la economía.

De acordo com Silva, (2004, p.8), [...] o fim da Segunda Guerra Mundial marcou o início de um período em que se intensificaram as mudanças que a sociedade brasileira sofria, a um ritmo mais lento, desde as primeiras décadas do século XX. Este período, que durou até o limiar da década de oitenta, foi caracterizado pela acelerada transição estrutural de uma sociedade agrícola tradicional para uma sociedade de classes moderna. O motor desta transição, definida por alguns observadores como "modernização conservadora" ou "excludente" foi o rápido crescimento económico, devido à difusão de formas de produção capitalistas em todos os setores da economia.

Até a década de 1970 o país era eminentemente agrícola, tanto quando se pensava em população economicamente ativa como em exportação. Dentre os produtores, havia basicamente os latifundiários e os agricultores familiares. Nas áreas urbanas destacavam-se os comerciantes e profissionais liberais, já que as indústrias eram ainda incipientes. Estas atividades eram comandadas basicamente por imigrantes europeus. (Silva, 2004)

## 3. O PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL NO BRASIL

A adoção do Modelo de Substituição de Importações por vários países latino-americanos, incluindo o Brasil, contribuiu para o aumento expressivo da taxa de crescimento econômico. Este modelo apresentou particularidades em cada país, mas tinha como princípio básico o aumento da produção nacional e consequente redução das importações. Silva (2004) destaca que com isso a exportação de recursos naturais, até hoje relevante no nosso PIB, desencadeou a redução da mão-de-obra na produção agrícola devido à mecanização e uso de agrotóxicos, e a consequente migração de parte da população rural para as cidades. A maior rentabilidade da produção destinada à exportação gerou uma redução da produção de alimentos básicos a partir da década de 1970. Esta redução da produção ocasionou aumento dos preços dos produtos de consumo básicos e aumento da inflação. Houve intervenção governamental no sentido de controlar os preços, o que desestimulou ainda mais a produção para consumo local. Por outro lado, com proteção governamental e orientação para o mercado interno, paralelamente viu-se desenvolver o setor industrial. Este foi fortemente incentivado durante o regime militar (1964-1985) e era voltado principalmente para as áreas metalmecânica e eletroeletrônica. No período de 1960 a 1980 estes foram os setores que apresentaram maior dinamismo. Assim como os demais, o setor terciário também cresceu consideravelmente no período, e apresentou alteração na sua estrutura, com maior destaque nas décadas de 1960-1970. De acordo com Aver (2016), cresceram os serviços relacionados à administração pública e às atividades sociais, de modo a atender as novas demandas em nível nacional.

Este crescimento não foi equitativo em todo o país, visto que estava concentrado basicamente em algumas regiões geograficamente definidas e nas mãos de poucos grupos econômicos, o que de certa forma acabou por aumentar ainda mais as desigualdades regionais. De forma a minimizar as disparidades nacionais, o planejamento foi utilizado amplamente não apenas em âmbito federal, mas também regional, sendo que a experiência mais avançada neste sentido aconteceu no Nordeste, devido aos trabalhos desenvolvidos pelo Banco do Nordeste do Brasil (BNB) a partir de 1954 e pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) a partir de 1959.

Contudo, ressalta-se que "as organizações públicas brasileiras voltadas ao desenvolvimento regional são historicamente marcadas pela centralização das iniciativas e pela falta de articulação real com as experiências vividas pelos atores locais." (Rumos, 2006, p.17).

Entre os anos 1960 e 1970 deu-se o início da crise aberta do modelo de desenvolvimento mundial do pós-guerra, em decorrência da desarticulação das relações virtuosas do padrão do desenvolvimento norte-americano (Becker et al, 2009).

No caso brasileiro, na década de 1960 as organizações de âmbito regional que surgiram a partir da influência do Plano de Desenvolvimento Nacional provocaram a criação de diversos novos municípios. No sul do Brasil, com a criação da Superintendência Regional – a SUDESUL – foi incentivada a "instituição de três grandes agrupamentos regionais: as Associações Microrregionais de Municípios, as Microrregiões Homogêneas do IBGE e as Unidades Territoriais Polarizadas do Governo Catarinense (usualmente Microrregiões Polarizadas). (Damo; Loch, 2006a, p.4).

Já na década seguinte, assim como na Europa, no Brasil observa-se um crescimento da industrialização em novas áreas. Desde então a questão regional tem ganho cada vez maior ênfase tanto nas pesquisas acadêmicas quanto nas políticas públicas.

De acordo com Lahorgue (1988, p.17),

> La décennie 1970 marque un tournant dans le processus de croissance des économies capitalistes. Avec le ralentissement de l'industrie des biens de consommation durables, le moteur de la croissance s'essouffle. Le désordre monétaire s'installe. Les nouveaux pays industriels viennent changer la géographie de la production. Un nouveau système technique commence à se dessiner avec l'expansion des nouvelles technologies (l'informationnel, les biotechnologies, les nouveaux matériaux). Les relations de production qui ont caractérisé les 30 ''glorieuses années'' d'après-guerre sont en train d'évoluer en raison des transformations profondes qe le système productif est en rain de subir. Ces transformations sont particulièrement sensibles dans le domaine spatial avec la persistance, voire l'émergence, de nouvelles disparités entre les espaces régionaux.

Como consequência natural do processo, no Rio Grande do Sul foram criadas as Associações de Municípios, subdividindo o Estado em microrregiões afins. Em função da falta de representatividade das associações isoladamente, em 1976 foi fundada no RS a Federação das Associações dos Municípios do Rio Grande do Sul (FAMURS), tornando-se em 1994, pela Lei 10.114, a entidade oficial dos municípios do Estado.

Mesmo com o (ou devido ao) intervencionismo constante do governo, a partir do final da década de 1970, o Brasil entrou num período de recessão que perdurou por anos. Em meados da década seguinte houve um período de melhoria

com a implementação de um plano de estabilização econômica (Plano Cruzado - 1986), mas que, todavia, não foi suficiente para fazer o país voltar às antigas e mais elevadas taxas de crescimento.

> La crisis social y económica que sobrevino a comienzos de lós años ochenta, cuando la deuda pública alcanzó niveles explosivos, hizo inviable la acción del Estado brasileño - motor del modelo de desarrollo- y provocó su quiebra. El proceso descrito anteriormente le paralizó e inclusive llegaron a revertirse algunas de las tendencias hasta entonces predominantes. Después de una década de crisis cíclicas, se cambió radicalmente el estilo de desarrollo, rompiendo com el modelo anterior. El nuevo modelo se basaba en la apertura comercial y financiera, la disminución sustancial de las actividades Del Estado (sobre todo de su participación directa en las actividades productivas, mediante la privatización de empresas estatales y servicios públicos), la prioridad otorgada a la estabilidad macroeconómica (baja inflación, equilibrio presupuestario y en las cuentas externas) y la elaboración de politicas económicas para atraer inversiones extranjeras privadas. (Silva, 2004, p.27)

A crise social e econômica que se seguiu no início dos anos oitenta, quando a dívida pública atingiu níveis explosivos, inviabilizou a ação do Estado brasileiro – motor do modelo de desenvolvimento - e levou à sua falência. O processo descrito anteriormente o paralisou e até chegou a se reverter algumas das tendências prevalecentes até então. Após uma década de crises cíclicas, se mudou radicalmente o estilo de desenvolvimento, rompendo com o modelo anterior. O novo modelo foi baseado na liberalização comercial e financeira, no declínio substancial nas atividades estatais (especialmente de sua participação direta nas atividades produtivas, através da privatização de empresas estatais e serviços públicos), na prioridade dada para a estabilidade macroeconômica (baixa inflação, orçamentos equilibrados e contas externas) e no desenvolvimento econômico para atrair as políticas de investimento privado estrangeiro. (Silva, 2004, p.27)

Segundo Feger, Rossetto e Edges (2008), até a década de 1980 a criação e a implantação de políticas públicas para o desenvolvimento eram responsabilidade exclusiva do governo federal, sem a participação dos Estados e dos municípios. “Utilizando-se de técnicos altamente treinados para a função de planejamento, o governo central tradicionalmente ditava os planos de desenvolvimento sem considerar as particularidades de cada Estado e de cada município.” (op. cit., p. 1). Umas das consequências econômicas e sociais mais impactantes foi o expressivo aumento, na casa dos 49%, do setor informal urbano, entre 1980 e 1985. (Silva, 2004, p29)

Lahorgue (2006) salienta que neste período começou a surgir uma nova indústria e uma nova economia, baseadas no conhecimento. A volta à reflexão e à investigação sobre o que estava acontecendo nos territórios dos países centrais com o declínio da indústria fordista e a ascensão da manufatura flexível e da introdução de novas tecnologias, mostrou que as regiões não eram entidades neutras nas suas relações com os fatores de desenvolvimento. Ao contrário, sua história e sua capacidade de auto-organização apareceram claramente como elementos essenciais para a compreensão das diferenças de ritmos e de qualidade de crescimento regional.

O Brasil fechou a década em 1980 mergulhado numa grave crise econômico/social. Novas tentativas de controle inflacionário foram feitas, destacando-se a abertura da economia à concorrência internacional e as tentativas de estabilização dos preços. No início da nova década pôde-se observar uma redução no emprego no setor industrial e consequente aumento nos demais setores, inclusive no informal. Neste período surgiram projetos de desenvolvimento de caráter local e/ou regional baseados em arranjos de produção e/ou inovação. (Aver, 2016)

Esses projetos, chamados “[...] de pólos tecnológicos, procuram, além da consolidação e da capacitação da produção propriamente dita, desenvolver inovações organizacionais que favoreçam um maior capital social. Cooperação e confiança são elementos essenciais e definidores do capital social de uma sociedade e estão na base da construção da viabilidade de crescimento durável dos arranjos ou sistemas de produção e/ou inovação.” (Lahorgue, 2006, p.2)

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As razões do ressurgimento da temática regional como foco do interesse de atores sociais e do governo se devem - provavelmente - também, às significativas desigualdades de renda entre regiões do Brasil. Assim, a participação e a articulação de atores sociais com a formação de parcerias são fundamentais à medida que a importância da mobilização dos fatores endógenos para a promoção do desenvolvimento regional é crescentemente enfatizada (Bandeira, 1999). Tradicionalmente, as políticas regionais adotadas no Brasil caracterizaram-se por sua formulação e implementação desconsiderarem a participação dos segmentos da sociedade civil afetados. E, por mais que suas deficiências venham se revelando evidentes, esse procedimento ainda marca grande parte das ações nas diferentes esferas da administração pública brasileira.

## 5. REFERÊNCIAS

Aver, I. K. 2016. “Desenvolvimento Regional e Dinâmicas Territoriais: o caso do COREDE Norte, RS.” Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre.

Bandeira, P. 1999. “Participação, articulação de atores sociais e desenvolvimento regional”. Brasília: IPEA.

Barquero, A. V. 2007. “Desarrollo endógeno. Teorías y políticas de desarrollo territorial”. Investigaciones Regionales, num. 11, PP. 183-210.

Becker, D. F. 2009. “Competitividade: o (des)caminho da globalização econômico-financeira”. In: Agostini, C.; Bandeira, P. S.; Dallabrida, V. R. (Org.). Desenvolvimento contemporâneo e seus (des)caminhos: a contribuição da obra de Dinizar Becker. Lajeado: UNIVATES.

Breitbach, A. C. de M. 2003. “Une dynamique regionale fondee sur la diversification industrielle. L’expérience de la région de Caxias do Sul (Brasil)”. Sorbonne: Universite Paris I.

Cardoso, F. H. 1997. “Aspectos políticos do planejamento”. In: LAFER, Betty Mindlin. Planejamento no Brasil. 5 ed. São Paulo: Perspectiva.

Costa Junior, A. G. da; Costa, C. E. de M. 2014. “Principais características da experiência espanhola e italiana de planejamento regional e aspectos que podem servir de aprendizado para o Brasil”. Mundorama. Disponível em http://mundorama.net/2014/01/14/principais-caracteristicas-da-experiencia-espanhola-e-italiana-de-planejamento-regional-e-aspectos-que-podem-servir-de-aprendizado-para-o-brasil-por-antonio-gil-da-costa-junior-e-carlos-eduardo-de-mi/. Acesso em 12 mai.2014.

Damo, M. R. S.; Loch, C. 2006. “As Secretarias de Desenvolvimento Regional e a configuração da regionalização catarinense”. In: COBRAC 2006 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC.

Feger, J. E.; Rossetto, A. M. ; Etges, V. E. 2008. ‘Estratégias para o desenvolvimento regional: mas de que região afinal?”. In: 7º Colóquio de Transformações Territoriais, Curitiba. Anais do 7º Colóquio de Transformações

Haddad, P. 1989. “A organização dos sistemas produtivos locais como prática de desenvolvimento endógeno”. Teorias e Métodos de Análise. BNB, Fortaleza, cap. 10.

Lahorgue, M. A. 2006. “Pólos tecnológicos no Brasil: espontaneidade ou inovação social? Uma discussão sobre os pólos tecnológicos brasileiros, sua evolução e perspectivas”. In I Congresso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I. Palacio de Minería.

_____. 1988. “L’approche du developpement regional par les systemes complexes:le cas du plateau du Rio Grande do Sul – Bresil”. Tese de Doutorado. L’Universite de Paris I – Pantheon Sorbonne.

Lopes, C. T. 1990. “Planejamento, Estado e crescimento”. São Paulo: Pioneira.

Miglioli, J. 1975. “Técnicas quantitativas de planejamento”. Rio de Janeiro: Vozes.

Mourão, P. R. 2007. “Notas para uma discussão do Planejamento Regional – os casos históricos de Portugal e da Comunidade Européia”. In: Revista brasileira de gestão e desenvolvimento regional. V.3, n.1, p.3-22, jan-abril.

Paiva, C. Á.2010. “Aglomerações, Arranjos e Sistemas Produtivos Locais: o que são, como se diferenciam e quais as políticas mais adequadas ao seu desenvolvimento?” Redes. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, v. 10, n. 3, 2005. Disponível em: <http://www.territoriopaiva.com/ctms/3/3/>. Acesso em: 13 abr.

Perobelli, F. S. et al. 1999. “O planejamento regional e potenciais de desenvolvimento dos municípios de Minas Gerais na região em torno de Juiz de Fora: uma aplicação de análise fatorial. Belo Horizonte”: Nova Economia, v.9, n.1.

Perroux, F.1981. “Pour une philosophie du nouveau développement”. Paris, Aubier : Presses de l'Unesco.

Rumos 2015. 2006. “Estudo sobre desenvolvimento regional e logística de transportes no Rio Grande do Sul”. SCP-DEPLAN;DCAPET. Porto Alegre: SCP, 5v.

Santana, M. de A. 2009. “A experiência de planejamento regional no Brasil: o caso da Amazônia (1931-2003)”. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Rio de Janeiro.

Silva, N. do V. 2004. “Cambios sociales y estratificación em el Brasil contemporâneo (1945-1999)”. Santiago do Chile: CEPAL.

Soldi, R. 2013. “Planejamento, desenvolvimento regional e o papel do Estado: studo comparativo entre o Estado brasileiro e o Estado italiano”. Tese (doutorado). São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Vargas, D. B.; Theis, I. M. 2008. “A Evolução recente do Planejamento na América Latina: lições para Santa Catarina?” In: Anais II Encontro de Economia Catarinense. Chapecó, APEC.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# OCUPAÇÃO TERRITORIAL E PLANEJAMENTO REGIONAL: O CASO DO OESTE CATARINENSE

**Ivana Karine Aver**
URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Uri Campus de Erechim
Avenida Sete de Setembro, 1621, bairro Fátima.
ivanakarine@yahoo.com.br

***Resumo:*** *Este artigo apresenta o processo de ocupação territorial na região oeste catariense, última região do Estado a ser colonizada. O modelo de colonização desenvolvido no oeste catarinense baseava-se no sistema colônia-venda e na pequena propriedade voltada para a economia de subsistência e para a comercialização do excedente, o que estimulou desde cedo a formação de um mercado interno, que rapidamente se integrou à economia nacional por meio da ferrovia que estava sendo implantanda, unindo o sul do país a São Paulo. O padrão de crescimento em Santa Catarina passou por profundas alterações a partir de 1962, influenciado pelo movimento geral da industrialização brasileira, momento em que a economia passou a ser pensada por órgãos governamentais. Nas décadas de 1950/1960 houve uma tentativa de desagregação política no oeste do Estado criando uma estrutura descentralizada, instalando em Chapecó a Secretaria de Estado dos Negócios do Oeste, com a finalidade de executar os projetos regionais e direcionar os investimentos acalmando a classe política, desgostosa com a falta de atenção dos governos da União e do Estado de Santa Catarina.*

***Palavras chave:*** *planejamento, planejamento regional, desenvolvimento regional.*

## 1. INTRODUÇÃO

Este artigo aborda, de forma sucinta, a evolução sócio-político-econômica da região oeste catarinense, a partir do início do século XX até a atualidade. Esta contextualização poderá fornecer subsídios para o entendimento da etapa seguinte, na qual se faz a análise de fatores que podem ser determinantes para o desenvolvimento regional, como os políticos-legais, socioeconômicos, naturais, tecnológicos e demográfico/comportamentais.

Para fins de encaminhamento, inicialmente é apresentada a ocupação territorial do oeste catarinense e num segundo momento, as transformações do planejamento regional em Santa Catarina.

## 2. OCUPAÇÃO TERRITORIAL DO OESTE CATARINENSE

A região oeste de Santa Catarina foi a última região do Estado a ser colonizada (Alves; Matei, 2006). No período anterior à abertura da estrada de ferro que ligaria a região sul do Brasil a São Paulo, em 1910, a região apresentava um lento ritmo de desenvolvimento. O caboclo luso-brasileiro vivia em isolamento, longe dos recursos existentes nos centros maiores. Dentre as principais atividades econômicas estavam a extração da erva-mate, o tropeirismo, as lavouras de subsistência, a criação de gado e de suínos e produção de derivados da pecuária.

Foi neste contexto que ocorreu a Guerra do Contestado, marcado por motivações sociais, econômicas, políticas e culturais (Thomé, 2007). A guerra, que durou de 1912 a 1916, teve como estopim problemas de cunho social, fanatismo religioso e falta de regularização fundiária. A região oeste de Santa Catarina, vista por muitos como abandonada pelo governo na época, teve seu desenvolvimento atrasado também em função desta disputa.

Com o fim da Guerra, quando catarinenses e paranaenses definiram seus limites territoriais, iniciou-se efetivamente a colonização da região oeste catarinense, com os imigrantes europeus vindos das colônias gaúchas. Naquela época o contato entre os dois Estados era feito por barcos e pela recém inaugurada ponte da viação férrea construída entre as cidades de Marcelino Ramos/RS e a atual Alto Bela Vista/SC.

A colonização do Oeste catarinense foi realizada por imigrantes alemães e italianos, sendo que os colonos alemães optaram por ocupar as encostas e fundos de vales, enquanto os italianos buscaram os planaltos e vales suspensos, o que explica o fato de alguns municípios apresentarem grande concentração de descendentes de alemães e outros de italianos. O modo como a colonização ocorreu contribuiu para a formação de pequenos municípios, que, a princípio apresentavam sua economia baseada na agricultura familiar, forma econômica ainda hoje encontrada em alguns deles e que, de certa forma, é incentivada pela agroindústria (Oliveira, 2010).

O modelo predominante no Estado era o da pequena propriedade, que determinava o ritmo de grande parte da economia catarinense. Nestas, assim como nas grandes propriedades, predominava o capital mercantil (Goulart Filho, 2002).

O governo de Santa Catarina, em 1917, fundou os municípios de Mafra, Porto União, Cruzeiro (hoje Joaçaba) e Chapecó, entre outros, objetivando solidifcar a colonização. Como esclarecimento, identifica-se como região Oeste de Santa Catarina o território equivalente à área de abrangência político-administrativa do município de Chapecó, quando de sua criação, em 1917, que possuía por limites: o município de Cruzeiro (atual Joaçaba), no Leste; a República da Argentina, no Oeste; o Estado do Paraná, no Norte; e o Estado do Rio Grande do Sul, ao Sul (Silva, Rosa, 2010).

Ao tratar do desenvolvimento da região oeste, Radin et al. (2003 apud Ferasso et al., 2007, p.1) destacam que "Os empresários que começaram a se instalar na região, em maioria imigrantes italianos e ítalo-brasileiros, obtiveram concessões de terras para promover a colonização. A companhia construtora da estrada de ferro ao longo do Rio do Peixe comercializava as terras que havia recebido como pagamento pela construção. Aumentou o fluxo de pessoas e observou-se a formação de colônias. Estas comunidades desempenharam um papel de polos de desenvolvimento regional, a partir das sedes municipais criadas a partir de 1917."

Desde o início do processo de colonização percebe-se a ligação com o Rio Grande do Sul. O desbravamento foi simultâneo e feito basicamente por imigrantes europeus, os quais já não tinham terras disponíveis para se instalar na região mais central do RS e que acabaram por ser alocados no norte gaúcho e posteriormente no oeste catarinense.

A partir de 1920, o processo colonizador intensificou-se e a extração de madeira passou a ser a principal atividade econômica da região até a década de 1940. Os primeiros imigrantes vindos do Rio Grande do Sul dedicaram-se à atividade agropecuária, especialmente à produção de milho, suínos e trigo, atividades semelhantes às desenvolvidas em seus locais de origem. Os colonos imigrantes, descendentes de alemães, vindos da região de Santa Cruz do Sul (RS), levaram o cultivo de fumo à região. Assim, o fumo, a erva-mate e a madeira representaram a base econômica do oeste catarinense (Welter, 2006). Em seguida, edificaram os primeiros moinhos, motivando também a cultura do trigo, além de selarias, alfaiatarias, oficinas de consertos e fabricação de ferramentas, hospedarias e hotéis, casas de comércio e serrarias. Ao falar da mão de obra imigrante, Thomé (2007) relata que essas levas humanas desbravaram as florestas e começaram a gerar riquezas, construíram capelas e abriram escolas primárias.

As primeiras atividades industriais na região oeste ocorreram com a instalação das serrarias, que eram de propriedade das companhias colonizadoras e ofertavam seus produtos para os colonos e também exportavam, via ferrovia, para São Paulo. Simultaneamente, São Paulo passa a ser um grande comprador de suínos vivos e banha e o comércio que até então era feito com as antigas colônias no Rio Grande do Sul perde importância. A estrada de ferro, ao oportunizar o transporte de mercadorias com o sudeste do País viabilizou a comercialização de suínos e esta, a partir da década de 1930, se consolidou como uma atividade rentável aos agricultores (Denardin, 2004). Aí se encontra um dos diferenciais entre as duas regiões: enquanto o Rio Grande do Sul tinha o Rio Uruguai como barreira para o escoamento da produção para os demais Estados do país, Santa Catarina beneficiava-se desta facilidade de acesso gerada principalmente pela estrada de ferro.

O modelo de colonização desenvolvido no oeste catarinense baseava-se no sistema colônia-venda e na pequena propriedade voltada para a economia de subsistência e para a comercialização do excedente, o que estimulou desde cedo a formação de um mercado interno, que rapidamente se integrou à economia nacional por meio da ferrovia. O regime de produção com base na pequena propriedade permitiu uma "acumulação pulverizada e o surgimento de uma diferenciação social em que alguns colonos mais abastados começaram a subordinar o trabalho e a pequena propriedade, tornando-se grandes madeireiros ou proprietários de frigoríficos" (Goularti Filho, 2002, p.982).

A indústria de alimento surgiu na região a partir da década de 1940 como resultado da transformação da produção dos excedentes produzidos na colônia em capital comercial (Amador, 2010, p.42). As atividades produtivas ligadas ao campo ganharam força se estruturando em bases industriais, como destaca Pertile (2008, p. 92), "[...] Entre duas décadas, 1945 e 1965, ocorreu uma grande diversificação e ampliação na base produtiva na economia do Oeste do Estado de Santa Catarina. Nessa região, a produção agropecuária, que até então se voltava ao comércio, começa a se industrializar."

A partir da década de 1950 a migração reduziu e o modelo econômico, fundamentado na relação agricultura-indústria, consolidou-se com as empresas de beneficiamento de aves e suínos (Brito, 1970).

A criação de suínos consistia numa importante fonte de alimento, e aos poucos, uma alternativa de renda colonial. Uma característica inicial da criação de suínos na região oeste catarinense consistia em uma forma de criação onde o porco, de raças comuns, era criado solto em piquetes ou em construções rudimentares e, na época da safra, era engordado, muitas vezes, na própria roça de milho. Os animais eram "tropeados" até o local de embarque no trem que os transportaria para São Paulo. Este sistema de criação e transporte de suínos foi comum até a introdução do caminhão, entre 1940 e 1950 (Plein, 2005).

O desenvolvimento da suinocultura no oeste catarinense intensificou-se em meados de 1950 com incentivos governamentais que levaram à instalação de agroindústrias na região, condição que persistiu até 1970, quando gradativamente aconteceu uma grande mudança nos sistemas produtivos regionais (Gianezini et al., 2013).

Ainda no início da década de 1940 foram implantados três frigoríficos com relativa expressão econômica na região. A família Brandalise, em 1940, adquiriu um frigorífico no distrito de Videira, mais tarde o mesmo passou a ser

chamado Perdigão S.A. Comércio e Indústria. Em 1942, no distrito de Herval D'Oeste, foi implantado o Comércio e Indústria Saulle Pagnoncelli; em 1944, igualmente resultante da expansão do capital comercial e da incorporação de um frigorífico já existente, foi fundada a Sadia, em Concórdia, e em 1956 foi criado o frigorífico Seara na cidade de mesmo nome. Com tais empreendimentos, no Vale do Rio do Peixe passou-se a produzir linguiça, carne salgada e, principalmente, banha, que conquistou o mercado brasileiro. Em contrapartida, São Paulo diminuiu sua produção (Pertile, 2008).

A relação entre os agricultores familiares e as agroindústrias, de acordo com Alves e Mattei (2006), se deu principalmente por meio dos sistemas de integração, implantados na região ao longo da década de 1960, sendo que a Sadia Concórdia já vinha desenvolvendo este sistema desde o início da década de 1950, quando foi lançado o programa Fomento Agropecuário. Tal programa foi concebido como uma forma alternativa de integrar verticalmente sua produção de matérias-primas e sua indústria de transformação, sem lançar mão da aquisição dos estabelecimentos produtores de matéria prima, através de um acordo mútuo de garantias de produção e comercialização, assentado em contratos de compra e venda de insumos, como leitões, assistência técnica e rações.

O padrão de crescimento em Santa Catarina passou por profundas alterações a partir de 1962, influenciado pelo movimento geral da industrialização brasileira, momento em que a economia passou a ser pensada por órgãos governamentais. O Estado passou a utilizar políticas econômicas para implantar e ampliar a infraestrutura social básica e para financiar o capital privado local. Nesse novo contexto começaram a despontar, nacional e internacionalmente, os grupos catarinenses, que passaram a comandar e a internalizar com maior intensidade o crescimento industrial no Estado (Goularti Filho, 2002).

O surgimento do Banco de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina (BDE), antigo BESC e do Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE), em 1962, introduziu uma nova etapa no sistema de crédito, passando-se a financiar investimentos de longo prazo com o propósito de fomentar e incentivar a indústria e a agroindústria catarinense (Goularti Filho, 2002).

Esta tendência intensificou-se a partir da década de 1970 com a construção das pontes rodoviárias sobre o Rio Uruguai, interligando a região de Erechim às regiões de Concórdia e Chapecó, conforme já comentado na evolução urbana do norte gaúcho.

Na década de 1980, com a decisão pela construção da Usina Hidrelétrica de Itá, a região começou a tomar nova conformação. Como consequência, resultaram a relocação da cidade de Itá/SC, o grande aporte de recursos provenientes dos royalties para Itá e Aratiba/RS e o início do desenvolvimento do turismo na região próxima ao Rio Uruguai. No início do século XXI começou a ser formado o lago da barragem, alterando profundamente as características físicas da região. As mudanças decorrentes operaram-se inclusive nos fluxos migratórios, já que várias das 3.585 famílias diretamente atingidas utilizaram o dinheiro das indenizações para adquirir casas nas zonas urbanas de Erechim/RS, Chapecó e Concórdia/SC, para onde migraram.

Nos anos 1990 a estabilização da economia e a abertura para entrada do capital externo afetou o desenvolvimento do complexo agroindustrial catarinense, causando uma violenta redução no número de suinocultores e forçando uma readaptação dos avicultores, o que resultou no atraso no desenvolvimento do setor agroindustrial. O período foi considerado como sendo uma década perdida, não só para a agroindústria, mas para todo o setor industrial brasileiro. Somente no final da década a indústria nacional retomou o crescimento, o que se fez sentir na também na agroindústria (Goularti Filho, 2003).

O cenário geral do Estado há uma década pode ser resumido no dizer do Plano Catarinense de Desenvolvimento:

> "A economia catarinense tem duas características importantes que lhe conferem grande potencial de adaptação a mudanças. Em primeiro lugar, ela é bastante diversificada. Em segundo, boa parte da economia catarinense está organizada em arranjos e cadeias produtivas – algumas com alto grau de atualização tecnológica – localizadas em diferentes regiões do estado, o que possibilita uma maior distribuição espacial da riqueza em comparação com outros estados brasileiros." (Plano, 2006, p.18)

Economicamente, nos últimos anos o desenvolvimento de Santa Catarina aparenta estar mais acentuado do que o do Rio Grande do Sul. Reflexo disso é a abertura de diversas filiais de empresas catarinenses em solo gaúcho e os dados dos últimos Censos do IBGE, que mostram crescimento populacional e econômico mais significativo na região ao norte do Rio Uruguai.

O perfil da estrutura industrial de Santa Catarina é marcado por forte presença de setores tradicionais têxtil-vestuário e alimentos, mas com um setor eletro-metal-mecânico, ao norte, ganhando importância e, em grande parte, sustentando o crescimento do produto industrial do Estado nos anos recentes. Três outras indústrias são também importantes, por sua presença no mercado brasileiro e na pauta de exportação - as indústrias de minerais não metálicos (cerâmica de revestimento) na região sul, de papel e papelão e de produtos de matérias plásticas. Essa estrutura industrial de Santa Catarina conduziu a um bom desempenho nas exportações, que representam aproximadamente 5,5% das exportações brasileiras. Os principais setores industriais do Estado encontram-se concentrados em regiões específicas, registrando-se evidentes especializações regionais, resultado de um processo histórico e descentralizado de formação industrial. Essa conformação regional alia-se, em cada indústria, a uma estrutura constituída por algumas grandes empresas, muitas

delas líderes nacionais, e por uma infinidade de empresas de pequeno e médio portes, todas de origem tipicamente familiar. (Campos; Nicolau; Cário, 1998, p3)

Outro fato recente que une ainda mais as duas regiões foi a aprovação do Projeto de Lei nº 2199/07, que criou a Universidade Federal para a Mesorregião da Grande Fronteira do MERCOSUL – a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). O projeto previa cinco campi, sendo a Sede em Chapecó, com cinco cursos, e Erechim (RS), Cerro Largo (RS), Realeza(PR) e Laranjeiras do Sul (PR), com três cursos em cada local. Desde sua instalação, o número de cursos foi ampliado, tendo agora 6 em Cerro Largo e Laranjeiras do Sul, 7 em Realeza, 12 em Chapecó e 11 em Erechim, Atualmente há também um campus em Passo Fundo/RS, onde recentemente foi aprovado o curso de Medicina.

## 3. PLANEJAMENTO REGIONAL EM SANTA CATARINA

Em Santa Catarina, nas décadas de 1950/1960 houve uma tentativa de desagregação política no oeste do Estado, "[...] que levou o Governo de forma articulada com a Superintendência de Desenvolvimento do Sul (SUDESUL), a criar uma estrutura administrativa descentralizada, com a instalação na cidade de Chapecó, da Secretaria de Estado dos Negócios do Oeste, basicamente instalada com a finalidade de executar os projetos regionais, obras públicas, direcionar investimentos e principalmente acalmar a classe política, desgostosa com a falta de atenção dos governos da União e do Estado de Santa Catarina. Ao longo dos próximos 30 anos da sua instalação, os recursos financeiros e investimentos foram escasseando'. (Damo Loch, 2006a, p.6).

Segundo Damo e Loch (op. cit.), a presença da SUDESUL colaborou para a interiorização do desenvolvimento, com a criação de grande número de municípios nas décadas de 1960 e 1970, surgindo também as primeiras Associações Microrregionais de Municípios.

Foi assim que em 28 de setembro de 1971, o Governador do Estado editou o Decreto nº 844, dispondo sobre normas para a regionalização das atividades da administração estadual, o planejamento e o desenvolvimento Micro-regionais, o chamado Projeto Catarinense de Desenvolvimento, e com ele criando as [...] Unidades Microrregionais Polarizadas das Micro-Regiões. (Damo, Loch, op. cit., p.6).

Atualmente no Estado estão constituídas vinte e uma Associações Microrregionais de Municípios reconhecidas pela Federação Catarinense de Municípios (FECAM).

Todavia, de acordo com Borges (2000, p.23), "A criação de microrregiões e instalação de repartições públicas federais e estaduais nelas localizadas, com a ausência de critérios técnicos mais rígidos e de noções de planejamento, leva a um completo desencontro dos programas e ações que são executados no âmbito destas microrregiões, pois se verificam variadas formas de distribuição das funções administrativas pelas entidades que atuam em cada uma destas."




Figura 1. Microrregiões Polarizadas – SC
Fonte: Adaptado pela autora a partir de http://intranetdoc.epagri.sc.gov.br/producao_tecnico_cientifica/DOC_6365.pdf. Acesso em 24 jul 2014

Cada Secretaria de Estado, Autarquia ou entidade Paraestatal obedecia a uma regionalização diferenciada, o que dificultava o controle por parte do Governo estadual. "Em alguns governos passados existiu a Secretaria do Planejamento e Coordenação Geral que era encarregada de articular as ações do Estado, mas que na verdade nunca conseguiu organizar as ações de governo coeso e articulado." (Damo, Loch, 2006a, p. 7, 8).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (Ibam, 1997), em 1978, Santa Catarina tinha algumas das associações de municípios mais antigas do país, com exceção de uma fundada no RS em 1960, com sede em Novo Hamburgo. A primeira associação em SC foi fundada em 1961 - a Associação dos Municípios do Meio Oeste Catarinense (AMMOC). No oeste, que engloba a região objeto deste estudo há a Associação dos Municípios do Oeste de Santa Catarina (AMOSC), fundada em 1968 e que hoje conta com 20 municípios.

A partir de 1996 surgiram os Fóruns de Desenvolvimento Regional integrado de Santa Catarina (FDRIs). O primeiro foi criado em Chapecó por iniciativa da Associação de Municípios do Oeste de Santa Catarina. De caráter não governamental e visando o desenvolvimento integrado e sustentável, estiveram ativos em várias microrregiões até 2002, tendo a atividade reduzida a partir do ano seguinte.

Em 2003, através da Lei Complementar Estadual n. 243, de 30 de janeiro de 2003, o governo estadual implantou, em substituição aos FDRIs, uma nova organização de âmbito regional, objetivando a descentralização administrativa, desconcentração da máquina pública e regionalização do desenvolvimento. Inicialmente foram criadas 29 Secretarias de Estado do Desenvolvimento Regional, número que aumentou com o passar dos anos chegando hoje a 36. As SDRs são executoras e fiscalizadoras dos projetos aprovados pelos Conselhos de Desenvolvimento Regionais, os quais são vinculados às SDRs e por consequência subordinadas ao governo do Estado.




Figura 2. – Secretarias de Desenvolvimento Regional (SDR) – SC
Fonte: Adaptado pela autora a partir de www.sc.gov.br/conteudo/governo/regionais. Acesso em 24 jul 2014

Num comparativo entre as Figuras 1 e 2 (microrregiões e SDRs, respectivamente) percebem-se as diferenças de territorialização entre as duas regionalizações. De acordo com Damo e Loch (2006a), estas estruturas fortaleceram as regiões, mas por outro lado fragilizaram o processo de planejamento e a organização do território quando as aspirações políticas em níveis locais e regionais sobreplantam critérios técnicos.

O Estado de Santa Catarina, pioneiro ao nível de Brasil neste processo de descentralização e regionalização do desenvolvimento, espelhado em experiências de desenvolvimento local dos países europeus, especialmente como é o caso da Itália e da Alemanha, vem agindo no sentido de transformar as regiões administrativas em territórios de desenvolvimento. No entanto esta tarefa poderia ser facilitada, se fossem utilizados recortes tradicionalmente já incorporados na cultura regional, como é o caso das Associações de Municípios, Microrregiões e Mesorregiões do IBGE. (Damo, Loch, 2006a, p.9).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região oeste de Santa Catarina teve seu processo de ocupação intensificado após o fim da Guerra do Contestado, que ocorreu a cerca de cem anos. Após este período inicial, a região se desenvolveu basicamente graças à rpodução de aves e suínos e ao beneficiamento destes produtos.

Ressalta-se que a região fica geograficamente distante da capital do Estado, o que poderia dificultar seu controle e administração. Todavia, Santa Catarina se destacou historicamente graças às tentativas de regionalização, dentro de um processo de evolução e amadurecimento, que culminou com as SDRs, atuantes até hoje.

Em 2006, através do Decreto No. 4.316, foi aprovado o Plano Catarinense de Desenvolvimento – PCD, que visava a criação de diretrizes e estratégias para a ação governamental até 2015. Tomou por base os dados e os conteúdos dos Planos de Desenvolvimento Regionais, os dados da Secretaria de Estado do Planejamento e do Master Plan (Plano,

2006, p.12). "O Master Plan é um plano diretor para orientar a ação do governo do Estado em investimentos estratégicos, com vistas a eliminar gargalos que limitam ou impedem o crescimento de Santa Catarina e identificar novos focos de dinamismo da economia." (Plano, 2006, p.108)

Tinha os seguintes objetivos:

Estabelecer os fundamentos para a promoção do desenvolvimento sustentável e equilibrado do Estado;

Definir as diretrizes nas áreas de atuação do Estado;

Formular estratégias para que as diretrizes sejam alcançadas. (Plano, 2006, p.12)

Diferentemente do Rumos 2015, elaborado no RS, o Plano de Santa Catarina engloba o Estado em sua totalidade, sem considerar particularidades das disparidades regionais dentro do próprio Estado.

## 5. REFERÊNCIAS

Alves, P. A.; Mattei, L. F. 2006. "Migrações no oeste catarinense: história e elementos explicativos." Anais... XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP. Caxambú- MG.

Amador, M. C. P. 2010. "A colonização na pequena propriedade familiar pelo descendente de imigrante e o desenvolvimento socioeconômico de Concórdia (1920 a 1960)". Tese (doutorado) São Leopoldo: Unisinos.

Borges, P. R. S. 2000. "A região oeste catarinense no contexto do desenvolvimento regional após os efeitos da interiorização da administração pública". In: *Cadernos de Economia*. Ano 14, n.27. Chapecó: UNOCHAPECÓ.

Brito, P. J. M. de. 1970. "História de Santa Catarina". Florianópolis/Rio de Janeiro: Sec/Laudes.

Campos, R. R.; Nicolau, J. A.; Cário, S. A. F. 1998. "Sistemas Locais de Inovação: um estudo preliminar de casos selecionados no Estado de Santa Catarina". Rio de Janeiro: IE/UERJ.

Damo, M. R. S.; Loch, C. 2006. "As Secretarias de Desenvolvimento Regional e a configuração da regionalização catarinense. In: COBRAC 2006 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC.

Denardin, V. F. 2004. "De capital natural a capital natural crítico: A aplicação da matriz de deliberação na gestão participativa dos recursos hídricos no oeste catarinense". Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Ferasso, M.; Vieira, L. M. M.; Saldanha, J. A. V.; Angst, R. L. 2007. "A representatividade das exportações para o desenvolvimento local do extremo-oeste catarinense: um estudo na região fronteiriça de Santa Catarina". Anais... 4º Congresso do Instituto Franco-Brasileiro de Administração de Enpresas – IFBAE. Porto Alegre-RS.

Gianezini, M.; Saggin, K. D.; Brandão, F. S.; Winck, C. A.; Ruviaro, C. F.; Leonardi, A. 2013. "Competitividade, capacidade de inovado o e desenvolvimento regional: inter-relações no contexto do agronegócio suinícola no oeste de Santa Catarina." RDE – Revista de Desenvolvimento Econômico. Salvador, Ano 15, n.27, jun..

Goularti Filho, A. 2002. A formação econômica de Santa Catarina. Ensaios FEE, Porto alegre, v.23, n.2, p.977-1007.

IBAM – I. B. de A. M. 1997. "Rio de Janeiro. Centro de Pesquisas Urbanas". Associações e Consórcios Intermunicipais. Coord. de Carlos Nelson F. dos Santos & François E. J. de Bremaeker. Convênio SEPLAN/PR e IBAM. Rio de Janeiro, 1978. Kayser, B. Campagnes et villes de la Côte D'Azur. Monaco: Editions du Rocher, 1960. Lafer, B. M. (org.), Planejamento no Brasil.. 5 ed. São Paulo: Perspectiva, 1997.

Oliveira, A. M. P. de. 2010. A dinâmica do desenvolvimento regional do meio oeste catarinense. Dissertação. Programa de Mestrado em Administração da Universidade Municipal de São Caetano do Sul. São Caetano do Sul.

Pertile, N. 2008. Formação do espaço Agroindustrial em Santa Catarina: O processo de produção de carnes no Oeste catarinense. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Plano Catarinense de Desenvolvimento SC 2015. 2006. Florianópolis: Governo de Santa Catarina.

Plein, C.. A formação da agricultura familiar no oeste de Santa Catarina: o caso das Colônias Porto Feliz e Porto Novo. Revista Faz Ciência, v. 7, n.1, p.79-102.

Silva, A. da; Rosa, A. da. 2010. Fronteiras: Revista Catarinense de História, Florianópolis, n.18, p.139-160.

Thomé, N. 2007. "A nacionalização no contestado, centro-oeste de Santa Catarina, na primeira metade do século XX". Linhas, Florianópolis, v.8, n.1, jan./jun.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROPOSTA IMPLEMENTAÇÃO DO DESENHO URBANO SENSÍVEL À ÁGUA NO MUNICÍPIO DE SARANDI -RS

**Jessica Andrade Michel**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
e-mail: arq.jessicamichel@gmail.com

**Raul José dos Santos Michel Junior**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus São Luiz Gonzaga, Rua José Bonifácio, 3149, São Luiz Gonzaga, RS
e-mail: raulmichel56@yahoo.com.br

***Resumo:*** *A urbanização das cidades sem planejamento adequado e sustentável, tem aumentado as tensões e o desequilíbrio ambiental, gerando consequências que interferem no bem-estar humano e na sustentabilidade das comunidades globais. O ritmo acelerado da urbanização e a intensidade das mudanças climáticas vêm desafiando os sistemas convencionais de drenagem pluvial das cidades contemporâneas. As chuvas intensas com grandes acumulados resultam quase sempre em alagamentos, inundações ou enxurradas no meio urbano, situações que, além de gerarem perdas econômicas, colocam em risco a vida da população. Neste cenário, este artigo busca identificar quais são os principais problemas relacionados à drenagem urbana no município de Sarandi-RS e propor soluções dentro das premissas do desenho urbano sensível à água.*

***Palavras chave:*** *Eventos hidrológicos, urbanização, mudanças climáticas, desenho urbano sensível à água..*

## 1. INTRODUÇÃO

A urbanização das cidades sem planejamento adequado e sustentável, tem aumentado as tensões e o desequilíbrio ambiental, gerando consequências que interferem no bem-estar humano e na sustentabilidade das comunidades globais.

O risco de inundações periódicas era relativamente bem aceito até meados do século XIX, sendo considerado como "um preço a pagar" pela disponibilidade da água junto à cidade (Baptista; Barraud; Nascimento, 2005). O aumento das aglomerações urbanas a partir do século XIX causou os primeiros transtornos resultantes da precariedade da infraestrutura relativa às águas pluviais e servidas. A falta de infraestrutura pluvial e as condições de insalubridade propiciaram o aparecimento das grandes epidemias de cólera e tifo, que assolaram a Europa nesta época. Diante disso, iniciou-se a busca pelo higienismo, que preconizava a evacuação, para mais longe e o mais rapidamente possível, das águas de qualquer natureza presentes nas áreas urbanas (Moura; Baptista; Barraud, 2009).

Entretanto, o ritmo acelerado da urbanização e a intensidade das mudanças climáticas vêm desafiando os sistemas convencionais de drenagem pluvial das cidades contemporâneas. Tais fatores combinados levam à conclusão de que as mudanças atuais devem ocorrer de forma antecipadora e não mais somente para amenizar as situações já conhecidas. Por consequência, as decisões frente a áreas adequadas para habitação e infraestrutura são atualmente reconhecidas como diretrizes base dos processos de planejamento urbano que considera a gestão de riscos (Wheater; Evans, 2009).

A urbanização desordenada associada às mudanças do clima global constituem um cenário preocupante para o desenvolvimento das cidades, sobretudo para a segurança da população, pois nas últimas décadas as cidades sofreram cada vez mais com problemas relacionados às águas, os quais resultam em: inundações, enchentes, enxurradas, alagamentos, desmoronamentos, movimentos de massa e períodos de estiagens (secas). Nesse sentido, o impacto da água no meio urbano pode ser sentido pelas infraestruturas e pelas populações diante dos dois extremos, ou seja, pelo excesso ou pela falta deste recurso.

Michel (2019), destaca em seu estudo que não apenas os grandes centros sofrem com os eventos hidrológicos, que também pode ser sentidos em pequenos e médios municípios.

Um estudo realizado na Região Funcional de Planejamento Nove do Rio Grande do Sul em 2018, permitiu identificar que 39 dos 130 municípios estudados, ou seja 30%, apresentam alta recorrência de enxurradas. Os dados levantados foram dos anos de 1991 até 2017, e demonstraram que dos 30 municípios identificas, 28 possuem população inferior a 10 mil habitante (Michel, 2019). Estes dados reforçam a afirmação de que pequenos e médios municípios também sofrem com enxurradas, alagamentos e inundações.

Desta forma, é possível constatar que as soluções tradicionais de drenagem urbana não atendem mais às necessidades das regiões urbanizadas, sejam de pequeno, médio ou grande porte, pois transferem os alagamentos de montante para jusante, além de aumentar a velocidade de escoamento da água e a energia de arraste das enxurradas (PBMC, 2016).

Diante do exposto, esta pesquisa buscou identificar os pontos mais afetados e demonstrar possíveis soluções para a redução dos impactos negativos dos eventos hidrológicos no município de Sarandi-RS. Esta metodologia de investigação, bem como, as soluções propostas, servem de embasamento para a replicação da mesma investigação em outros municípios do mesmo porte de Sarandi e que sofram com os eventos hidrológicos.

## 2. METODOLOGIA

Para compreender as etapas metodológicas é necessário que se conheça a área de estudo. O município escolhido para a realização deste estudo foi o município de Sarandi-RS.

Sarandi é uma cidade de porte médio inferior e está localizada ao Norte do Estado do Rio Grande do Sul, na Mesorregião do Noroeste Rio-grandense, microrregião de Carazinho, às margens da BR 386, a chamada Rodovia da Produção, distante 328 km de Porto Alegre. O município é integrante do Corede Rio da Várzea. De acordo com o censo 2010, Sarandi possuía uma população de 21.285 habitantes, sendo que a população estimada para o ano de 2018 é de 24.205 habitantes.

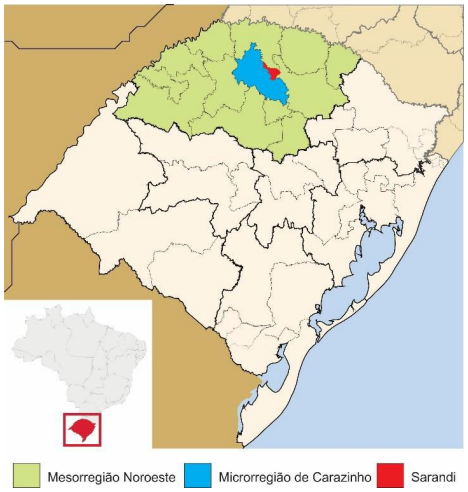



Figura 1: Localização geográfica do município de Sarandi – Rio Grande do Sul.
Fonte: Elaborado pelos Autores.

### 2.1 Levantamento de campo e detalhamento da situação municipal

O início do estudo de caso ocorreu com a caracterização geral do município, fazendo levantamentos em relação às alterações populacionais e buscando informações sobre hidrografia do município.

Em um segundo momento verificou-se a evolução da cidade em direção ao rio, nesta etapa foi feito um levantamento de campo de forma a identificar qual a situação atual do Rio e seu entorno, também foi identificado como ocorre o manejo das águas pluviais.

Por fim foram elencados os problemas relatados pelos técnicos da prefeitura municipal em relação às enxurradas e à rede de drenagem urbana.

A base cartográfica utilizada foi o mapa atualizado do município de Sarandi, disponibilizado pelo topógrafo da prefeitura municipal. A fim de facilitar o levantamento do rio urbano, foram propostos pontos para realização de medições, avaliações mais detalhadas, que incluem a tipologias construtivas, parcelamento do solo, presença de lixo e esgoto no local e ainda um levantamento fotográfico. Em outros pontos, somente o levantamento fotográfico foi realizado.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A economia do município é composta por diversas atividades. Atualmente, Sarandi é considerada "Polo Industrial da Região" pelo desenvolvimento alcançado ao longo dos anos. Estão instaladas no município pequenas indústrias têxteis, e uma unidade da Aurora Alimentos. Na área rural, as atividades concentram-se na produção de vinhos, criação de gados e suínos.

Em 2004 foi instalado no município um Campus da Universidade de Passo Fundo, o que também contribui com o desenvolvimento da região. Também estão instaladas no município a CESURG, Centro de Ensino Superior Riograndense e um polo da Uab, Universidade Aberta do Brasil.

A população residente no município de Sarandi vem variando ao longo dos anos. Em 1991 foi registrada uma população de 22.351 pessoas, sendo que este número caiu nos anos seguintes e voltou a crescer somente no ano de 2000. Atualmente, estima-se que o município tenha 24.205 habitantes. Vale ressaltar que no ano de 2007 a população atingiu 20 mil habitantes, neste momento deveria ter iniciado a elaboração do plano diretor, que até hoje não está concluído.

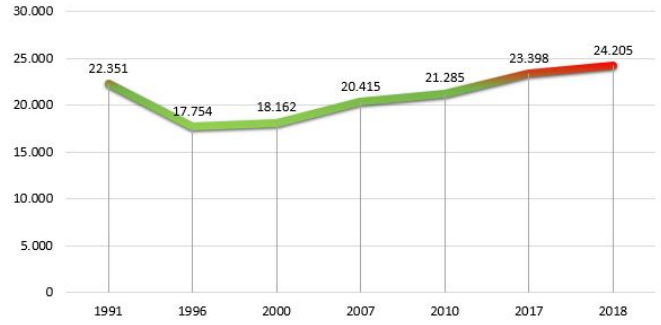



Figura 2: Variação da populacional de Sarandi de 1991 até 2018.
Fonte: IBGE (2014); IBGE (2018).

Sarandi está localizada na Região Hidrográfica do Uruguai, com todo seu território fazendo parte da Bacia do Rio da Várzea. A hidrografia do município é constituída pelo Rio Cateretê, que atravessa a sede, o Rio da Várzea, o Rio Bonito e o Rio Turvo que ficam na zona rural do município, além de uma grande quantidade de pequenos lagos, arroios e riachos, todos integrantes da Bacia do Rio Uruguai.

O município é dividido em quatro regiões hidrográficas, sendo elas Ati-Açu, Caturetê, Baios-Mendes e Sobradinho. A localização de cada região está demonstrada na figura 3.

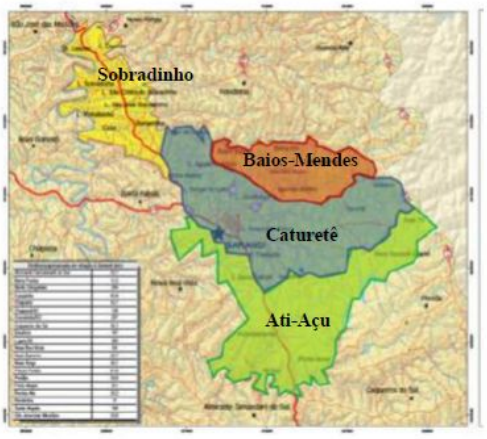



Figura 3: Regiões hidrográficas do município de Sarandi.
Fonte: Echoa Engenharia (2014).

### 3.1 Levantamento do Rio Caturetê

A figura 4, demonstra os pontos que foram levantados a fim de verificar a atual situação do rio urbano. O levantamento ocorreu com ficha cadastral conforme apresentado na metodologia, que serviu como balizadora para elaboração das análises apresentadas na sequência. Em alguns pontos do Rio Caturetê ocorreu apenas levantamento fotográfico, sem medições no local.

No levantamento foi observado que em todos os pontos monitorados há presença de lixo e em alguns pontos há uma grande aglomeração de residências nas margens do rio.

O esgoto sem tratamento também é despejado em alguns pontos. A seguir está descrita a situação de cada ponto levantado.

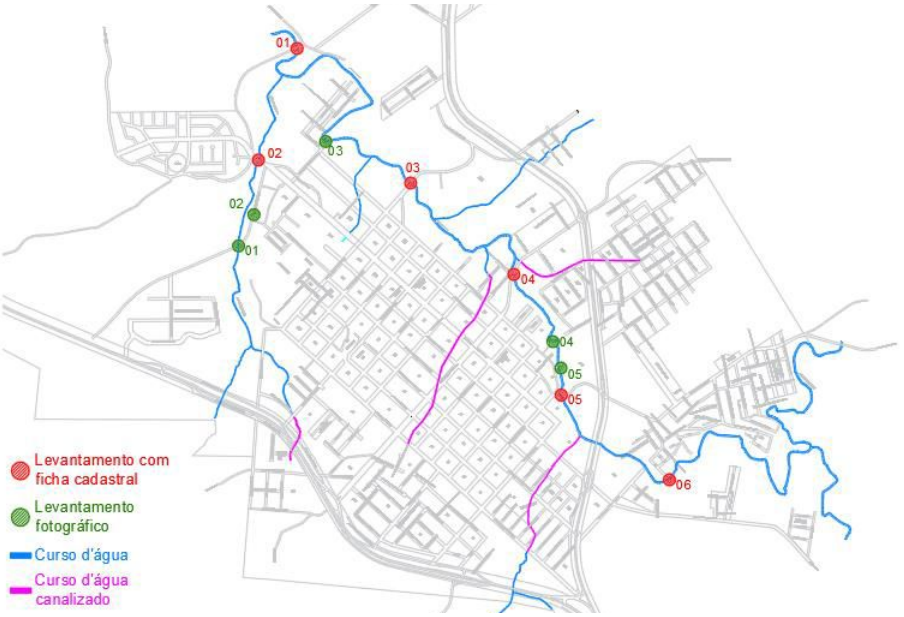



Figura 4: Localização dos pontos de levantamento com ficha cadastral e levantamento fotográfico.
Fonte: Elaborado pelos Autores.

Dentre os pontos onde foram feitos os levantamentos, os que merecem mais destaque são os pontos 02 e 05. Nestes pontos foram encontradas as piores situações do Rio Caturetê.

### 3.1.1 Ponto 2 – Avenida Sete de Setembro próximo da Avenida Esperança

O ponto dois fica localizado na extremidade noroeste da área urbana do município. Este ponto se refere à Sanga Gusmante, afluente do principal Rio urbano o Caturetê, neste ponto está localizada a Vila Esperança, um bairro formado por população de baixa renda e que ocupa a área de APP da sanga.

A área já apresentou episódios de enxurradas e inundações, por este motivo a comunidade que residia no local foi transferida para outro bairro que não apresentava este problema, através de uma verba do PAC obtida pelo município. Porém a área voltou a ser ocupada e hoje encontra-se com muitas famílias residindo no local.

Neste ponto a largura da Sanga é de aproximadamente 5 metros, não possui canalização, a vegetação é escassa e a área de APP não é respeitada. O parcelamento do solo tem terrenos com área em torno de 150m² e o uso é predominantemente residencial. Devido ao grande número de edificações o solo é bastante impermeabilizado. As edificações são construídas em alvenaria e madeira e possuem um e dois pavimentos.

A paisagem visível da rua é degradada com muita presença de lixo, tanto no bairro como na Sanga e no seu entorno. Também foi possível verificar a presença de esgoto despejada na rede pluvial que vai à Sanga. No local não há existência de processo erosivo e a topografia se apresenta em declive na direção do curso d'água.



Figura 5: Ponto 2, Avenida Sete de Setembro esquina com a Avenida Esperança.
Fonte: Autores.

### 3.1.2 Ponto 5 – Rua Otávio Ribeiro

A situação mais alarmante foi encontrada no ponto cinco, onde há ocupação irregular das margens do Rio. Neste ponto há uma grande área impermeabilizada, devido ao número de casas construídas sem recuos em relação ao Rio e as casas vizinhas. Estas casas são de tipologias variadas, com 1 e 2 pavimentos, construídas em alvenaria e madeira, e materiais reutilizados.

O parcelamento do solo se dá de forma bastante irregular com terrenos de até 150,00 m² e a utilização da área é para fins residenciais.

A largura aproximada do Rio Caturetê nesta área é aproximadamente 12,00 metros, não sendo canalizado.



Figura 6: Ponto 5, Rua Otávio Ribeiro.
Fonte: Autores.

A presença de lixo é bastante volumosa neste setor. Dentre os lixos descartados nas margens do Rio estão eletrodomésticos, móveis, roupas, entulhos de construção e embalagens plásticas.



Figura 7: Presença de lixo na Rua Otávio Ribeiro.
Fonte: Autores.

Outro fato preocupante é o esgoto sem tratamento sendo despejado diretamente no Rio. As imagens demonstram duas situações que foram observadas: primeiro a canalização direta para o Rio, e no segundo caso o esgoto escorrendo pelo solo e em seguida caindo no Rio.



Figura 8: Esgoto despejado sem tratamento no Rio.
Fonte: Autores.

### 3.2 Drenagem urbana no município

O sistema de drenagem do município é composto por bocas de lobo, tubulações e galerias pluviais.

Dentro do perímetro urbano do município são 4 trechos de sangas canalizadas. Esses trechos possuem a extensão aproximada de 2.785 metros e têm dimensões variadas.

A principal galeria possui em torno de 1.048 metros de extensão e está localizada na região central da cidade, passando pelas principais ruas. Acima da galeria há aproximadamente dez metros de aterro e após isso estão edificadas várias residências e prédios comerciais, inclusive um prédio residencial com doze pavimentos.

As galerias pluviais foram construídas na década de 1970 e não recebem manutenção com frequência.



Figura 9: Galerias pluviais.
Fonte: Prefeitura Municipal de Sarandi (2018).

### 3.3 Problemas relatados atualmente

O mapa da imagem 10, ilustra os pontos onde ocorrem ou ocorreram problemas recentes relacionados com os eventos hidrológicos.

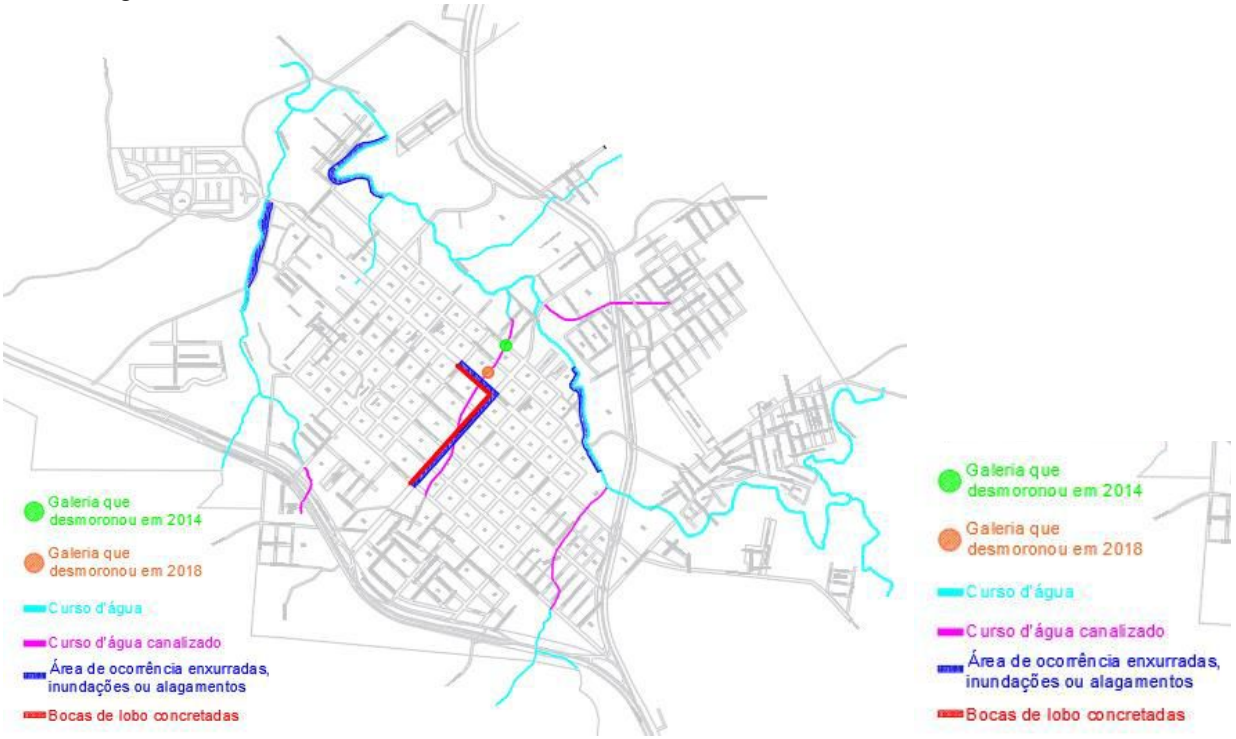



Figura 10: Localização da ocorrência dos principais problemas relacionados com enxurradas.
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.4 Desmoronamento de galeria pluvial

No ano de 2014 parte da galeria principal desmoronou em decorrência das fortes chuvas que atingiram o município. A falta de manutenção, o subdimensionamento da estrutura, e o crescimento do número de edificações em cima da galeria são fatores que podem ter contribuído para o desmoronamento.

O resultado deste evento foi uma cratera com mais de dez metros de profundidade e aproximadamente cinquenta metros de comprimento. A cratera permaneceu aberta durante 12 meses, aguardando a licitação e empresas interessadas em realizar a obra, que teve um custo total de R$ 600.000,00.

Como é possível ver nas imagens os transtornos aos moradores foram significativos, pois além de interromper o trânsito na rua, algumas famílias tiveram que ser retiradas de suas residências por risco de desmoronamento.




Figura 11: Obra de recuperação da galeria que desmoronou.
Fonte: Prefeitura Municipal de Sarandi (2018).

Em 2018 a galeria pluvial novamente não suportou a intensidade das chuvas e entre a Avenida Sete de Setembro e a Rua Bortolo De Marco acabou se rompendo, causando prejuízos econômicos a famílias e colocando em risco vidas humanas.



Figura 12: Estragos causados pela galeria que desmoronou em 2018.
Fonte: Machado (2018).

### 3.5 Bocas de lobo concretadas

Ao longo da avenida Sete de Setembro e da Avenida Expedicionário várias bocas de lobo foram concretadas pelos comerciantes da região, ao argumento de que o mau cheiro vindo delas atrapalhava as vendas do comércio. Este fato foi relatado pelos munícipes e também veiculados pelos jornais locais.

As bocas de lobo que não foram concretadas estão em bom estado de conservação, todavia várias delas apresentam lixo. Quando os moradores estão em frente às suas residências precisam cobrir a boca de lobo usando papelão para não sentir o cheiro de esgoto que vem delas.



Figura 13:Bocas de lobo concretadas e boca de coberta com papelão.
Fonte: Autores.

### 3.6 Situação da cidade em dias de chuva forte

Em dias de chuva forte, com grandes acumulados em poucas horas o sistema de drenagem no centro da cidade não suporta a carga e as ruas acabam alagando. A lâmina d'água pode chegar até 60 cm de altura em alguns pontos. O nível do Rio Caturetê também se eleva causando estragos nas residências e na infraestrutura urbana, além de causar vários outros transtornos para a população.



Figura 14: Centro da cidade em dias de chuva forte.
Fonte: Autores.

### 3.7 Desenho Urbano Sensível à Água (WSUD - Water Sensitive Urban Design)

A infraestrutura de drenagem urbana verde, conhecida como Projeto Urbano Sensível à Água, WSUD - Water Sensitive Urban Design, está sendo cada vez mais implementada em cidades em todo o mundo, a fim de combater os efeitos da mudança climática e da urbanização (Kuller et al., 2018).

Esta prática criada na Austrália, tem como objetivo integrar o planejamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo urbano da água, proteger e restaurar as vias navegáveis naturais, diminuir o risco e a severidade das inundações e diversificar as fontes de abastecimento de água (Dietz, 2007; Wong & Brown, 2009).

A utilização do WSUD fornece soluções para abastecimento de água urbana, águas residuais e águas pluviais, de uma forma mais econômica, através da introdução de tecnologias "verdes" distribuídas na paisagem urbana, causando menos danos ao meio ambiente (Kuller et al., 2018). Entre seus principais objetivos, destacam-se:

• Redução das demandas por água potável através de usos mais eficientes das águas, além de uma abordagem mais eficiente de fontes de água alternativas;

• Redução da geração de efluentes, além do tratamento destes antes de serem lançados nos corpos d'água receptores;

• Tratamento das águas pluviais para atender aos padrões de qualidade ao serem reutilizadas ou lançadas nos corpos d'água receptores;

• Restaurar ou preservar o regime hidrológico natural das bacias hidrográficas;

• Melhorar a saúde dos corpos de água;

• Melhorar a estética e a conexão entre os recursos hídricos e os residentes das áreas nas quais os sistemas sejam adotados.

### 3.8 Implementação do Desenho Urbano Sensível à Água em Sarandi - RS

A partir do diagnóstico fornecido pelo Estudo de Caso, foram sugeridos locais de implantação dos métodos previstos pelo Desenho Urbano Sensível à Água, considerada a prática que trará maior retorno na redução dos eventos hidrológicos recorrentes em Sarandi.

Durante o desenvolvimento desta proposta também se observou a necessidade da introdução de medidas não estruturais conforme indicam as referências bibliográficas anteriormente consultadas. As medidas não estruturais ajudam a promover a consciência ambiental da população, que assim contribui para manutenção dos sistemas de infraestrutura e preservação do meio ambiente. Além disso, as medidas não estruturais englobam as legislações, fundamentais para o ordenamento do espaço urbano.

No quadro 1, são elencadas as medidas estruturais e não estruturais propostas para o município de Sarandi-RS.

Quadro 1: Medidas estruturais e não estruturais propostas para o município de Sarandi-RS

| TIPO | MEDIDA |
|---|---|
| Medida Estrutural | Jardins de chuva ao longo da Avenida Sete de Setembro e Expedicionário |
| Medida Estrutural | Praça alagável com tanques de captação da água da chuva |
| Medida Estrutural | Realocação das famílias ribeirinhas |
| Medida Estrutural | Recuperação da mata ciliar nas margens do Rio Caturetê e Sanga Gusmante |
| Medida não estrutural | Palestras sobre prejuízos do lançamento de lixo e esgoto sem tratamento diretamente no Rio |
| Medida não estrutural | Legislação para implantação de cisternas em novas edificações |
| Medida não estrutural | Limpeza e manutenção dos jardins de chuva e praça alagável |
| Medida não estrutural | Legislação para implantação de telhados verdes ao longo das Avenidas Sete de Setembro, Expedicionário, e Ruas próximas. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

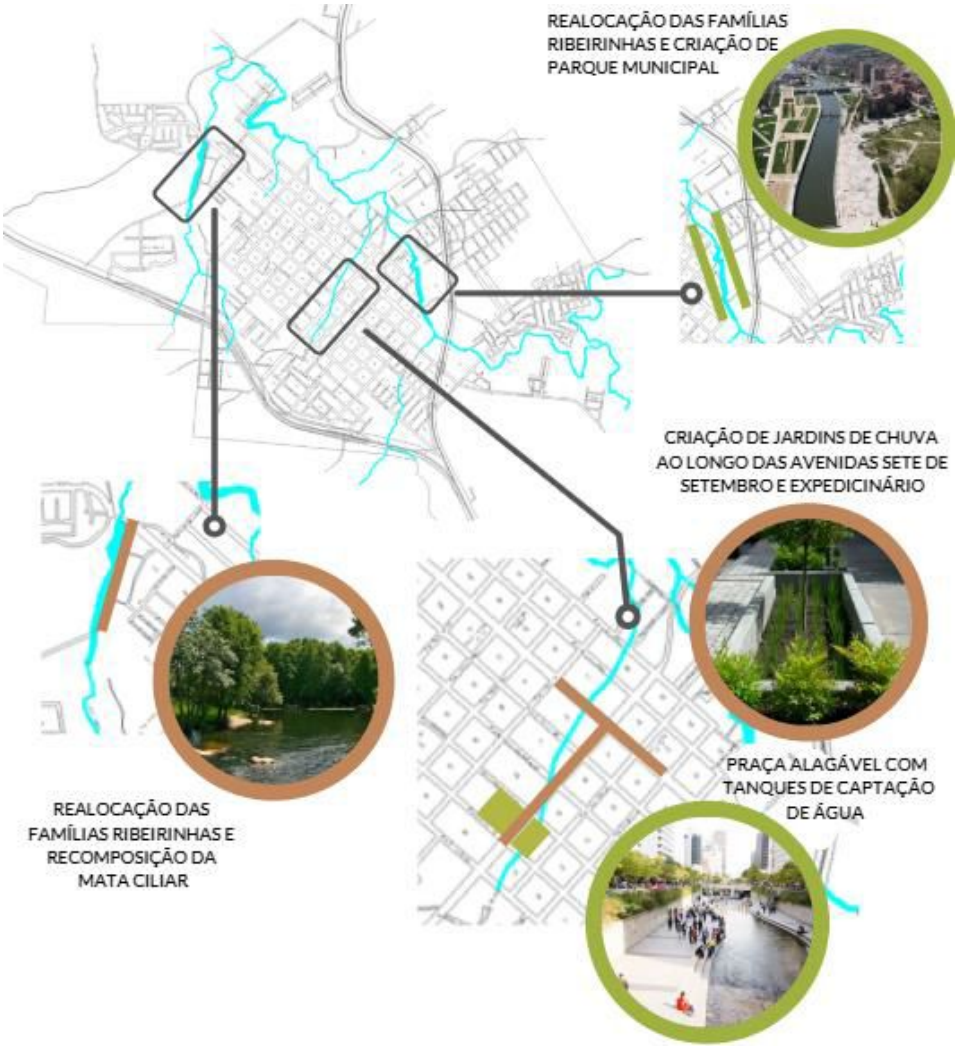



Figura 15: Localização das medidas de Desenho Urbano Sensível à Água no perímetro urbano de Sarandi - RS.
Fonte: Elaborado pela autora.

## 4. CONCLUSÕES

As cidades pequenas e médias não são resilientes em seus sistemas de drenagem, e quando atingidas por eventos hidrológicos demoram anos para reconstruir a infraestrutura antes existente. Em alguns casos a reconstrução dessa infraestrutura ocorre da mesma forma que existia anteriormente, trazendo para o ambiente urbano uma estrutura novamente vulnerável aos eventos ocorridos e que poderá gerar os mesmos transtornos futuramente. Deste modo, faz-se necessário pensar em novas alternativas que auxiliem os sistemas convencionais de drenagem, contribuindo para a redução dos impactos negativos causados pelas enxurradas, alagamentos e inundações.

Também é importante ressaltar que o diagnóstico prévio da situação municipal é fundamental para identificação dos bairros do município que apresentam maior carência de intervenção, e qual a origem do problema. No levantamento "in loco", observou-se problemas de drenagem advindos de várias causas, como, impermeabilização do solo, ocupação de áreas de preservação, danificação da infraestrutura de drenagem, falta de manutenção e falta de diretrizes urbanas mais bem elaboradas e rigorosas.

Desta forma, conclui-se que para melhoria dos problemas encontrados no município são necessárias intervenções em duas frentes, uma abordando questões não estruturais de conscientização da população, e outra onde se estude propostas de obras de melhoria para a drenagem urbana do município.

## 5. REFERÊNCIAS

Baptista, M. B.; Barraud, Nascimento, N. O. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.* Porto Alegre: ABRH. 2005. p. 266.

Dietz, M. E. *Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions.* Water, Air, And Soil Pollution, [s.l.], v. 186, n. 1-4, p.351-363, 2007.

Echoa Engenharia. "Plano Municipal De Saneamento Básico – Eixo Águas Pluviais. 2014." <https://www.sarandi.rs.gov.br/images/2015/06/PMSB.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2018.

IBGE. "Panorama das cidades brasileiras." Rio de Janeiro: IBGE, 2018. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sarandi/panorama>. Acesso em: 14 nov. 2018.

IBGE. "Perfil dos municípios brasileiros: 2012." Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

Kuller, M. et al. *What drives the location choice for water sensitive infrastructure in Melbourne, Australia?* Landscape and Urban Planning, [s.l.], v. 175, p.92-101, 2018.

Machado, R. "Sarandi - Município decreta situação de emergência. 2018." <http://rogeriomachadoblog.com.br/sarandi-municipio-decreta-situacao-de-emergencia/>. Acesso em: 20 nov. 2018.

Michel, J. A. *Gestão de águas pluviais em pequenas e médias cidades voltada para a adaptação às mudanças climáticas.* 2019. 178 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

Moura, P. M.; Baptista, M. B.; Barraud, S. *Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana.* Rega - Revista de Gestão de Água da América Latina, Porto Alegre, v. 6, p. 31-42, 2009.

PBMC, 2016: "Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas" [RIBEIRO, S.K., SANTOS, A.S. (Eds.)]. Rio de Janeiro, Brasil. 2016. p. 116.

Wheater, H.; Evans, E. *Land use, water management and future flood risk.* Land Use Policy, [s.l.], v. 26, p. 251-264, 2009.

Wong, T. H. F.; Brown, R. R. *The water sensitive city: principles for practice.* Water Science & Technology, [s.l.], v. 60, n. 3, p.673-683, 2009.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL E ALUGUEL SOCIAL

**Amanda Frota Zanella**
**Natália Biscaglia Pereira**
Universidade Federal da Fronteira Sul, RS-135, Km 72 – Zona Rural, Erechim-RS
amanda-fz@hotmail.com
natalia.pereira@uffs.edu.br

***Resumo:*** *Este trabalho tem como objetivo propor um debate conceitual sobre a habitação de interesse social, compreendendo suas necessidades; demandas; direito social coletivo; déficit e políticas públicas. A primeira parte do artigo é pontuada pelo debate das demandas e necessidades das habitações (HIS), buscando um novo olhar para a forma como ela é produzida, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e dos assentamentos urbanos, de modo que as políticas habitacionais não se tornem instrumento de consolidação das desigualdades sociais. Em seguida, um breve resume sobre a história das políticas públicas habitacionais no Brasil. E finalmente, a última parte do artigo se dedica a analisar a política de locação social, apresentando experiências de outros países, analisando como elas foram implantadas, como funcionam e quais desafios enfrentam.*

***Palavras-chave:*** *Habitação de interesse social, Aluguel social, Políticas públicas habitacionais.*

## 1. INTRODUÇÃO

Desde meados do século XX, a moradia é um direito universal humano firmado pela Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948. Ela também constitui um direito social e uma garantia fundamental, expressamente assegurada pela legislação brasileira, na Constituição Federal de 1988, em seu artigo 6º, introduzido pelo advento da Emenda Constitucional nº 26/00:

> Art. 6º São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição" (Brasil, 1988).

Apesar da moradia ser um direito universal humano, segundo dados do (IBGE 2018), o déficit habitacional brasileiro alcançou o número de 7,7 milhões de moradias e a projeção até o ano de 2050 é um aumento de 30 milhões. Ainda em 2012, de acordo com o diagnóstico produzido pela Sehabs (2012) - Secretaria de Habitação e Saneamento, o déficit habitacional do estado do Rio Grande do Sul alcançava cerca de 187,5 mil unidades habitacionais, sendo 160.649 no meio urbano e 26.863 no meio rural.

Segundo Lins (2002), as necessidades habitacionais englobam três diferentes conceitos: 1) Déficit Habitacional, que corresponde número de pessoas ou famílias sem habitação adequadas; 2) Demanda Demográfica, que dimensiona quantas moradias adicionais devem ser acrescidas para acomodar condignamente o crescimento populacional local e onde ele será implantado; 3) Moradias Inadequadas, que correspondem às habitações carentes de infraestrutura e níveis da habitabilidade mínimos.

No Brasil, é possível observar que os programas habitacionais atualmente não solucionam as problemáticas das necessidades habitacionais, ou seja, eles levam apenas em consideração o déficit habitacional e visam o menor custo em detrimento da qualidade do projeto. Logo, na maioria das vezes não correspondem aos requisitos mínimos de segurança, desempenho e habitabilidade segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013).

A qualidade de vida da população está profundamente relacionada com a necessidade de abrigo e proteção, por isso, a moradia deve satisfazer as exigências do bem-estar do usuário. As Habitações de interesse social dificilmente atendem as necessidades dos seus moradores, uma vez que ao analisar o tamanho e os números de cômodos, constata-se que inúmeras ampliações são frequentemente realizadas de forma irregular, logo após o recebimento de suas residências. Além disso, a maioria dos loteamentos sociais baseia-se em uma única tipologia de residência, a qual é implantada em toda a extensão do terreno, uma ao lado da outra, de uma forma bastante monótona (Figura 1). Tais adversidades poderiam ser solucionadas se fossem criadas tipologias diferentes para perfis de famílias ou pessoas distintas.



Figura 1. Minha Casa Minha Vida, em Passo Fundo (RS)

Fonte: <https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2017/02/novas-medidas-do-minha-casa-minha-vida-envolvera-r-60-bilhoes.html>

Outros obstáculos apresentados são os loteamentos sociais excluídos das áreas centrais urbanizadas e colocados em áreas periféricas, com infraestrutura precária ou por fazer, afastando os indivíduos que mais dependem de serviços públicos, como o transporte, dos centros urbanos. Para solucionar tal adversidade, sugere-se a inserção dos loteamentos sociais nas zonas consolidadas e centrais, garantindo-se assim a otimização de infraestrutura já existente, diminuindo os gastos para o puder público e reduzindo a necessidade de deslocamento. Todas essas medidas minimizam o impacto ambiental da expansão do perímetro urbano e visam cumprir a função social da propriedade por meio da ocupação de lotes vazios urbanos.

## 2. POLÍTICAS PÚBLICAS HABITACIONAIS NO BRASIL

No fim do século XIX, uma série de acontecimentos no Brasil influenciou decisivamente a ampliação e a formação dos espaços urbanos no país. O fim da escravidão culminou no crescimento da migração para a cidade. Concomitantemente, imigrantes europeus chegaram ao Brasil para trabalhar no campo e na indústria brasileira que se iniciava. Em decorrência, houve o aumento da população nas cidades, fato que acarretou uma demanda inédita por moradia, transporte e demais serviços urbanos (Maricato, 1997).

Assim, as habitações preexistentes nas cidades não supriram a demanda de moradia da população originária do êxodo rural. A falta de saneamento básico ocasionou muitos problemas de saúde pública, os quais pressionaram o governo brasileiro a tomar medidas. Uma destas primeiras medidas foi a concessão de crédito para empresas privadas, sendo este direcionado para a construção de moradias individuais, principalmente nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Dado a grande diferença entre os preços ofertados às habitações individuais construídas por empresas privadas e as moradias informais, muitos empresários passaram a investir em loteamentos para as classes altas, enquanto outros investiram em habitações coletivas, que passaram a figurar como a principal alternativa para que a população urbana pobre pudesse permanecer na cidade, especificamente no centro, onde estariam próximos das indústrias e de outras possibilidades de trabalho (Pechman & Ribeiro, 1983).

> No início do século XX, na cidade do Rio de Janeiro foi instaurado um plano de reforma urbana, que vinha com o intuito de melhorar fatores como a circulação de mercadorias, os serviços presentes, em parceria a população do local. Cerca de 590 construções foram destruídas, dando lugar a 120 novos edifícios, fato este que resultou na desapropriação de várias famílias, que acabaram migrando para os subúrbios, formando assim as primeiras favelas (Maricato,1997, p.39 ).

Outras cidades brasileiras seguiram o modelo de planejamento de renovação urbana de Hausmann, em Paris, que combinava saneamento, embelezamento, circulação e segregação territorial. Esse foi o caso de Belo Horizonte, com planejamento de caráter segregacionista, que utilizou da setorização para determinar quais espaços poderiam ser ocupados por quais grupos sociais. Assim, antes mesmo da inauguração, em 1985 a cidade já tinha duas áreas ocupadas irregularmente - a do Córrego do Leitão e a do Alto da Estação -, que abrigavam cerca de três mil pessoas (Guimarães, 1992).

Em São Paulo por volta dos anos 30, acabou por ocorrer algo semelhante a destruição dos cortiços visto na cidade do Rio de Janeiro (Maricato, 1996). Os cortiços representavam grande parcela das edificações voltadas à população de baixa renda, sendo estes construídos pela iniciativa privada, e locados aos usuários (Figura 2). Porém, estas edificações se tornaram grandes empecilhos para as ações de renovação urbana, sendo estas direcionadas para as áreas mais nobres da cidade. Neste caso, o poder público da cidade de São Paulo entrou em ação fomentando a segregação social e espacial, mediante a exigência da propriedade legal dos terrenos conforme as normas do Código Municipal. Perante esta norma, os cortiços eram demolidos e seus habitantes eram forçados a se deslocar para as áreas periféricas da cidade, onde os terrenos eram menos valorizados pelo mercado (Villaça, 1986 *apud LabHab,* 2003).



Figura 2. Cortiços em São Paulo-SP -1930
Fonte: < https://caosplanejado.com/corticos-eram-melhores-que-favelas> Edição: Autor.

Segundo Bonduki (2009), os primeiros programas sociais com parceria governamental iniciaram na década de 1940, a exemplo dos Institutos de Aposentadoria e Pensão (IAPs). Neste programa, as edificações prezavam pela funcionalidade, com implantações diferenciadas, assim como fazia uso de novos materiais e técnicas construtivas. Dois exemplos de habitações construídas neste contexto são o Conjunto Pedregulho no Rio de janeiro e o conjunto Japurá em São Paulo.

Uma medida fomentadora da segregação tomada por parte do governo federal foi a Lei do Inquilinato de Vargas. Esta medida congelou os aluguéis no ano de 1942, suscitando a propriedade privada do imóvel, intensificando a segregação urbana e o expurgo da população mais carente para a periferia. Também nesta época a carência habitacional passa a ser considerado um problema social, cabendo ao âmbito da política pública estatal se incumbir de resolvê-lo (Villaça, 1998 *apud LabHab,* 2003).

Na década de 60 fora fundado o BNH (Banco Nacional de Habitação), porém os pressupostos do modernismo no projeto de habitação social, segundo Bonduki (2004), O modelo de financiamento do BNH baseou-se fortemente na tentativa de um "equilíbrio" econômico, por meio do financiamento da habitação centralizado em um Sistema Financeiro de Habitação (SFH) alimentado tanto com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) quanto pelas cadernetas de poupança privadas. Pela grande ênfase dada ao estímulo dos setores associados à construção civil, a atuação do BNH priorizou a quantidade de unidades produzidas, ao menor custo possível, com pouca ou nenhuma preocupação com a qualidade arquitetônica e urbanística dos conjuntos construídos (Bonduki 2004).

> A extinção do BNH, no contexto de redemocratização do país, deu-se em âmbito de uma séria crise que teve como fatores determinantes a política de arrocho salarial do governo militar, que garantia a manutenção de baixos salários para incentivar o crescimento do setor industrial brasileiro, e os níveis crescentes de inflação, que acabaram por gerar massiva inadimplência perante o SFH (Bonduki, 2004, p. 22)

Segundo Bonduki (2009), a partir de 1986, foram ampliados os serviços e as camadas populacionais dos programas voltados à habitação social, os quais ficaram sob a responsabilidade administrativa da Caixa Econômica Federal. Apesar do avanço, as propostas de projeto seguiram defasadas e o padrão das edificações decaiu. Entre os programas habitacionais desenvolvidos estão o Pró-Moradia, o Programa Carta de Crédito e o PAR (Programa de Arrendamento Residencial). Tais propostas não obtiveram um resultado satisfatório no âmbito referente à inserção das edificações na malha urbana.

Em 2003, por meio de um processo abrangente de participação, é realizada a primeira Conferência Nacional das Cidades, a qual resultou a estruturação do Conselho Nacional de Cidades, o qual, por sua vez, em 2004 aprovou a Política Nacional de Habitação (PNH) (Bonduki e Rossetto, 2008).

Com o início do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em sua primeira edição no ano de 2009, houve o veto da implantação de atividades comerciais junto das edificações realizadas comumente em áreas periféricas da cidade, o que afetou o desenvolvimento e a autonomia de tais regiões (Cardoso e Aragão, 2013). Segundo Lago (2011), apesar deste veto ter sido revogado no mês de dezembro de 2010, as determinações da estatal para com a concepção de condomínios, equipamentos sociais e serviços públicos básicos, continuaram sendo negligenciadas pelos órgãos municipais, estes que são incumbidos de supervisionar tais empreendimentos.

Em resumo, o histórico das políticas nacionais para a habitação mostra como os principais programas nacionais tornaram o problema habitacional - uma obrigação do Estado e um direito - uma questão de mercado (Azevedo & Andrade, 1982). Por isso, chegamos hoje a um déficit habitacional de aproximadamente oito milhões de moradias, dos quais cerca de 6 milhões são urbanos. Essa situação, somada à persistente ineficiência das políticas públicas, fomenta diversas lutas sociais e políticas no sentido de garantir, não só acesso à moradia, mas o direito à cidade.

## 3. ALUGUEL SOCIAL

Sabemos que no Brasil, quase que exclusivamente, as políticas públicas têm sido voltadas para a aquisição da casa própria, como exemplo, temos o programa Minha casa Minha Vida, maior programa habitacional já visto no Brasil, que ajuda a população de baixa renda a adquirir sua casa própria. Assim, no país, o aluguel social é utilizado apenas como forma de fornecer habitação social provisória enquanto são construídas casas de habitação social, transferidas como propriedade privada aos moradores beneficiados neste programa, no âmbito de uma política habitacional fortemente fundada no paradigma do direito à propriedade.

Segundo dados do (IBGE,2018), o déficit habitacional brasileiro cresceu 7% em apenas dez anos, isso mostra que a política habitacional homogenea existente hoje no país não tem sido capaz de atender à demanda por habitação, desta forma faz-se necessário diversificar essa política. Apesar de não ser a resposta definitiva e única, a locação social representa uma alternatia interessante para minimizar o problema da habitação, tornando-se uma forma de incorporar a moradia acessível em áreas urbanas consolidadas, combatendo os vazios urbanos e sendo uma política de governo que deve garantir moradia digna a população de baixa renda (Gravas, 2019).

No aluguel social a propriedade do imóvel é do poder público e os moradores pagam um aluguel de acordo com a sua renda, assim o imóvel cumpre uma função social com o direito de uso e não de posse. Coloca-se como desafio construir em todos os setores da sociedade o entendimento de que a moradia, compreendida como parte integrante de uma rede social de apoio à população, pode ser também um serviço público, do qual o Estado deva ser o ator principal, seja de forma direta ou por meio de parcerias. A locação social, por ser pública e intransferível, não sofrerá pressões do mercado imobiliário com a sua valorização devido a estar em uma área central, e assim não permitindo a revenda de suas unidades para famílias com maior poder aquisitivo. Em tese, o aluguel social pode ajudar a interferir nos preços do mercado popular de aluguel, reduzindo abusos nos valores dos imóveis (Gatti, 2018).

Outro fator interessante, que estrutura a elaboração deste programa, é o retorno do valor de investimento nas unidades habitacionais ao Fundo Municipal de Habitação (FMH) através do pagamento dos aluguéis, contribuindo para o financiamento de novos empreendimentos. Essa prerrogativa coloca o Programa de Locação Social em um patamar muito mais vantajoso em termos de política habitacional em longo prazo do que os programas de financiamento de casa própria existentes, onde o subsídio público é transferido para o mercado imobiliário privado no processo de revenda das habitações, e o poder público se exime de acompanhar a condição habitacional futura das famílias beneficiadas, sobretudo quando se trata de famílias muito pobres com grandes chances de não conseguirem arcar com as despesas da nova moradia e sujeitas ao repasse das unidades (Gatti, 2018).

## 4. POLÍTICAS PÚBLICAS DE HABITAÇÃO SOCIAL NO MUNDO

O aluguel social, sendo parte de uma política com objetivo de possibilitar a todos o direito à moradia é empregada em outros países do mundo, como França, Inglaterra, Alemanha, Portugal e Estados Unidos (Quadro 1). Essas políticas utilizadas costumam variar bastante de acordo com cada país. Elas podem incluir um parque imobiliário de locação pertencente aos agentes públicos ou credenciados (em geral, sem fins lucrativos), como também a previsão de sistemas de subsídios para acesso ao parque privado de aluguel. Nesse último caso, muitas vezes a continuidade do benefício está vinculada à determinada situação social, como desemprego ou baixa renda (Santos e Werneck, 2017).

A França tem um expressivo número de habitações de aluguel social, atualmente possui 5,5 milhões de unidades e representa o maior estoque de habitação social da Europa. Seu sistema de aluguel social francês é operado por mais de 850 instituições chamadas de organismos de habitação de aluguel moderado (HLM), que podem ser (i) agência públicas de habitação de aluguel moderado (OPHLM), com estatuto de empresa pública e com funcionários públicos e contabilidade pública (são 292 na França); as agências públicas de urbanização e construção (OPAC), que possuem estatuto de empresa privada (com contabilidade e empregados privados), mas vinculadas aos governos, como as nossas

autarquias (são 324 na França); as Sociedades Anônimas de Habitação de Aluguel Moderado, criadas por empresas ou grupos de empresas para atender seus funcionários; as Sociedades de Crédito Imobiliário (são 66 na França) e as Sociedades Cooperativas (são 153 na França).Sua política habitacional é guiada por dois princípios: o primeiro é o livre mercado que garante ao morador direito a escolha quanto a forma de posse, tipo e localização da habitação. O segundo é "direito à habitação" fundamento legal criado para garantir habitação a todos. A habitação social na França é classificada de acordo com a classe social que se destina e o financiamento fornecido: muito social (PLAI) de 15% a 35%, padrão (PLUS) de 12% a 18% e média alta (PLI) de até 10% (Paolinelli e Costa, 2017).

A Inglaterra também é um país de relevância no contexto europeu quando se trata de políticas de locação social, tanto em número absoluto, em que perde apenas para a França, quanto em porcentagem, apresentando cerca de 17% do estoque habitacional dedicado a esse setor. As *council houses*, empreendimentos de propriedade pública para locação, tiveram seu auge no pós-guerra e hoje estão declinando em número de unidade. Enquanto isso, as *housing associations*, organizações privadas sem fins lucrativos, estão cada vez mais ganhando força. É possível ter acesso a um aluguel de custo reduzido por meio da locação social, provida pelas autoridades locais ou, (*council houses*) ou, por associações (*housing associations*), como contratos que podem garantir a estadia do residente por toda a vida. Além disso, tanto para a locação do mercado privado quanto para a locação social, o inquilino pode conseguir por meio de um subsídio de habitação uma redução extra no valor do aluguel, concedida diretamente pelo governo inglês ao locatário (Gov.UK, 2015).

Quadro 1: Formas de propriedade e despesa pública com a habitação.

| País | Formas de Propriedade | | | | Custos da pol. de habitação |
|---|---|---|---|---|---|
| | Habitações próprias ocupadas pelo proprietário | Habitação Social | Habitação privadas alugadas | Outros | PIB |
| Bélgica | 62 | 6 | 30 | | 0,24 (1988) |
| Dinamarca | 50 | 18 | 24 | | 1,02 (1988) |
| Alemanha | 38 | 26 | 36 | | 1,4 (1991) |
| Grécia | 70 | 0 | 26 | | |
| Espanha | 76 | 2 | 16 | | 0,98 (1990) |
| França | 54 | 17 | 21 | | 1,8 (1993) |
| Irlanda | 80 | 11 | 9 | | |
| Itália | 67 | 6 | 8 | | |
| Luxemburgo | 67 | 2 | 31 | | |
| Países baixos | 47 | 36 | 17 | | 3,20 (1990) |
| Portugal | 66 | 4 | 28 | | |
| Reino Unido | 66 | 24 | 10 | | 3,3 (1993) |
| Áustria | 41 | 23 | 22 | | |
| Finlândia | 72 | 143 | 11 | | 1,48 (1987) |
| Suécia | 43 | 22 | 18 | 16* | 4,10 (1992) |
| UE | 56 | 18 | 21 | | |

* setor de cooperativas

Fonte: Formas de propriedade: ECODHAS; Custos: *Stephens* (1996)
http://www.europarl.europa.eu/workingpapers/soci/w14/summary_pt.htm#top

## 5. REFERÊNCIAS

Assembleia Geral da ONU. "Declaração Universal dos Direitos Humanos". 217 (III) A. Paris, 1948. 11 Set 2019 <http://www.un.org/en/universal-declaration-human-rights/>.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) , 2013. "NBR 15575- Desempenho de edificações habitacionais". Rio De Janeiro, Brasil.

Azevedo, S. Andrade, A.L., 1982 "A crise da política habitacional: dilemas e perspectivas para o final dos anos 90". São Paulo, Brasil.

Brasil, Constituição da República Federativa do Brasil, 1988. Brasília-DF. Senado Federal, 1988. 2 Jul 2018 <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>

Bonduki, N., 2004. "Origens da habitação social no Brasil: Arquitetura moderna, Lei do Inquilinato e difusão da casa própria". Editora Estação Liberdade. São Paulo, Brasil.

Bonduki, N., 2009. "Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, Lei do inquilinato e difusão da casa própria". Editora Estação Liberdade. São Paulo, Brasil.

Bonduki, N., Rosetto, L., 2008. Os pioneiros da habitação Social no Brasil. Editora Unesp,Vol. 03. São Paulo, Brasil.

Costa, R. Paolinelli, M., 2017. "Políticas de locação social em experiências internacionais". 9 Set. 2019 <http://www.arq.ufmg.br/lab-urb/wp-content/uploads/2013/09/monografia_marina-e-rafaela_2015.pdf>.

Guimaraes, B. M., 1992. "Favelas em Belo Horizonte: tendências e desafios". Vol 2, p 113-130. Rio Janeiro, Brasil.

Gatti, S., 2018. Locação Social: Alternativa ao modelo hegemônico da casa própria. 9 Set. 2019 <https://www.arcoweb.com.br/projetodesign/artigos/artigo-locacao-social-como-alternativa-da-casa-propria>.

Gravas, D., 2019. "Déficit habitacional é recorde no País". 15 Set 2019 < https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,deficit-habitacional-e-recorde-no-pais,70002669433>

Gov. Uk. 8 Set 2019 < www.gov.uk>.

IBGE., 2018. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/habitacao.html>.

Labhab, 2003. "Habitação social no contexto da reabilitação urbana da Área Central de São Paulo". 10 Set 2019 <http://www.fau.usp.br/depprojeto/labhab/biblioteca/teses/diogo_mestrado_habcontexto.pdf>

Lago, L.C., 2011. "A casa própria em tempo de crise: os novos padrões de provisão de moradias nas grandes cidades". Rio de Janeiro, Brasil.

Lins, F. E., 2002. "Déficit Habitacional e Inadequação das Moradias No Nordeste e em Pernambuco". 25 Abr 2019 <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENERGEP2002_TR19_0105.PDF>.

Maricato, E., 1997. "Brasil 2000: qual planejamento urbano?". Caderno IPPUR, Vol 2, p. 113-130. Rio de Janeiro, Brasil

Maricato, E., 1997."Habitação e cidade. Série Espaço e Debate". Atual Editora, Vol 3. São Paulo, Brasil.

Motta, L. D., 2011. "A questão da Habitação no Brasil: Políticas Públicas, conflitos urbanos e o direito a cidade". 15 Abr 2019 <https://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/wp-content/uploads/2014/04/TAMC-MOTTA_Luana_-_A_questao_da_habitacao_no_Brasil.pdf >.

Paollineli, M.S.,Costa,R.G. 2017. "Políticas de locação social em experiências internacionais". Trabalho de Conclusão de Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais. 25 set 2019 < http://www.arq.ufmg.br/lab-urb/wp-content/uploads/2013/09/monografia_marina-e-rafaela_2015.pdf>

Pechman, R. M. Ribeiro, L.C.Q. 1983., "O que é questão da moradia. Coleção Primeiros Passos nº 92". Editora brasiliense. São Paulo, Brasil.

Santos, O. Werneck, M., 2017. "O aluguel social na perspectiva do Direito à cidade". 6 Set 2019 <http://www.portomaravilha.com.br/conteudo/artigos//ApresentacaoAluguel%20Social-PHIS.pdf >.

Sehabs., 2012. Secretaria de Habitação e Saneamento. Diagnóstico PEHIS2012. Disponível em: <http://www.sehabs.rs.gov.br/>.

Villaça, F., 1986. "O que todo cidadão precisa saber sobre habitação". Editora Global. São Paulo, Brasil.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ALGUNS ASPECTOS DA LEI 13.465/2017: O QUE MUDOU PARA OS ARQUITETOS E OUTROS ATORES SOCIAIS

Rochana Basso
URI Frederico Westphalen, Rua Assis Brasil, Nº 709, Bairro Itapajé, Frederico Westphalen, RS, Brasil
Carlos Antônio da Silva
URI Erechim, Av. Sete de Setembro, Nº 1621, Bairro Fátima, Erechim, RS, Brasil
bassorochana@gmail.com, scarlos@uri.com.br

***Resumo:*** *Este artigo procura discuitr sobre a aplicação da Lei 13.465/2017, recentemente promulgada e que visa atender a regularização urbana e rural, além de construções cuja situação permeia a urbanização anômala. Usa-se da pesquisa exploratória para construção do estado da arte relativo à temática posta. Ato contínuo são apresentados os principais pontos divergentes presentes na legislação em epígrafe. O debate teórico apoia-se em revisão bibliográfica e documental, visto que se trata de pesquisa qualitativa e de cunho exploratória. Além disso, compõe delineamentos literários colhidos na doutrina e legislação brasileira, utilizando-se, inclusive, de uma macro sistematização de dados e micro análise do material encontrado, buscando identificar os referidos institutos. Discorre-se também sobre as principais celeumas que envolvem as questões jurídicas e notariais relativas a escrituração, por conta do uso, domínio e posse de imóveis afetos as perrogativas impostas pela legislação, além de apresentar a percepção de diferentes atores sociais sobre a Lei 13.465/2017 em estudo. Por fim, recorre-se aos fundamentos da República como forma de viabilizar o atendimento das garantias constitucionais ao cidadão, por meio das políticas públicas possibilitando assim a concretude da cidadania plena.*

***Palavras chave:*** *Lei 13.465/2017, Fragilidades, Arquitetos, Viabilidade Operacional*

## 1. INTRODUÇÃO

A Lei 13.465/2017, que disciplina sobre a regularização urbana e rural além do direito real de laje, passou a vigorar em nível nacional a partir do ano de 2017 e de imediato ativou o debate da classe profissional de engenheiros civis, arquitetos e urbanistas, corretores de imóveis, tabeliães, entre outros profissionais da área da construção civil, aliando-se às entidades de classe da sociedade civil organizada que passaram a discordar publicamente da redação legislativa descrita nessa lei. Arguia-se que o fato da regularização, expansão ou construção sobre bem ou área legitimada pelo direito à moradia, estavam sendo usadas para o benefício da ilicitude dos atos que lesam a propriedade mútua. Ademais, a principal discussão sobre a referida Lei é referente a regularização urbana, na qual foram apresentadas algumas divergências doutrinárias e legais. Esse fato é imperativo nas discussões jurídicas com fulcro que abrigava em seu bojo legal interpretações dúbias, embora seguras àqueles que dela faziam juízo de verdade.

Antes da edição dessa lei, na maioria das vezes, o acordo contratual residia no pacto verbal das partes. Com a efetivação da legislação, a celeuma passou a ser o ponto de maior conflito legal, perante os entendimentos havidos pelas partes conflitantes. Nesse artigo, procura-se indicar as fragilidades ou brechas legais que a Lei 13.465/2017 apresenta, assim como, evocar possíveis correções ou adaptações ao regramento posto, face o entendimento jurídico estar em aberto, agindo pela subjetividade do ente julgador.

O direito de laje, especificado também pela Lei 13.465/2017 tem sido uma resposta as demandas de urbanização principalmente em grandes centros, sendo ainda desconhecido pela maioria das pessoas.

A divergência inicial dos arquitetos tem como foco principal questionar à parte da lei relativa à regularização fundiária urbana (REURB), disciplinada no Título II (artigos 9º ao 83) e em alguns dispositivos do Título III. O Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB) sustenta que os dispositivos violam o modelo constitucional de política urbana, que atribui aos municípios a competência para legislar, entre outros aspectos, sobre assuntos de interesse local (artigo 30, inciso I), sobre o adequado ordenamento territorial (artigo 30, inciso VIII), além da competência executiva em matéria urbanística e normativa atribuída ao plano diretor (artigo 182).

Segundo a Instituição, o município é o ente responsável por planejar e executar sua política de desenvolvimento urbano. Essa atribuição, conforme a entidade, não retira as responsabilidades e competências da União ou dos estados, mas as delimita, pois não cabe a estes entes conhecer as particularidades e os interesses locais, os recursos disponíveis ou

a concretude do território e de suas relações jurídicas. Eles também não estariam aptos a perceber as consequências de certas determinações para o atendimento das necessidades e direitos dos habitantes de cada cidade. "O próprio conceito dado pela Lei à regularização fundiária urbana expressa, de modo claro, imposição de decisão concreta ao município, em vez de meramente conferir instrumental e diretrizes para o seu próprio planejamento territorial", destaca a IAB (2018).

Dessa forma, justifica-se o presente artigo uma vez que a exacerbada discussão técnica tem sucumbido às práticas cotidianas da boa vizinhança e do acatar para minimizar os desencontros humanos e legais trazidos pela atualização regrada no corpo da lei, como a oriunda da Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI), e respectivo requerimento de medida cautelar, ajuizada pela Diretoria Nacional do Instituto de Arquitetos do Brasil objetivando a declaração de inconstitucionalidade da "Regularização Fundiária Urbana - REURB (disciplinada no Título II da Lei 13.465/2017 - artigos 9º ao 82, e tratada também nos artigos 83 e 84, 87 a 90, e 98; o parágrafo 2º do artigo 11-C, da Lei 9.636, de 1998, incluído pelo artigo 93 da Lei; e o § 5º do artigo 1º, do Decreto-Lei n. 1.876, de 1981, incluído pelo art. 95 da Lei)".

Nesses fatos, se tem referencial suficiente para alimentar a discussão posta no âmbito jurídico, que alcança também a sociedade civil organizada e principalmente o cidadão comum em seu direito constitucional à moradia.

## 2. A LEI 13.465/2017

### 2.1 Conceitos iniciais

A Lei 13.465/2017 traz uma miscelânea jurídica sobre a situações urbanas e rurais passíveis de regulamentação. Importante fazer a acepção conceitual dos institutos jurídicos afins.

Ao descrever o léxico laje, Ferreira (2016, p.40) define laje como sendo substantivo feminino, cujo significado mais comum é "Pedra de superfície plana, geralmente quadrada ou retangular; lousa." Na construção, a palavra laje assume o significado de "obra continua de concreto armado, a qual constitui sobrado, teto de um compartimento ou piso." Na etimologia da palavra, laje tem significado paralelo de lajae-lájea. Entre as variáveis derivadas possíveis estão lajem, ou em seu diminutivo irregular: lajota. Para os ditames da lei, o significado mais apropriado consiste no "direito real sobre a unidade imobiliária autônoma erigida sobre a propriedade de outrem."

O mesmo autor conceitua a laje ou direito de laje como nova lâmina de propriedade criada por meio de cessão, onerosa ou gratuita, da superfície superior ou inferior de uma construção (seja ela sobre o solo ou já em laje) por parte do proprietário (ou lajeário) da mesma, para que o titular do novo direito possa manter unidade autônoma da edificação original.

Retomando a adjetivação posta na qualificação da lei, a laje nos dizeres coloquiais das comunidades em seu cotidiano mais corriqueiro, passa a receber a singela denominação de "puxado ou puxadinho", fazendo do eufemismo uma forma mais afetiva de indicar o espaço da moradia destinado à vida, ou seja: o lar.

No esteio da lei, que altera o Código Civil Brasileiro, incluiu o artigo 1.510-A e preconiza o direito de fazer um "puxadinho", minimamente entendido como o exercido sobre a unidade imobiliária autônoma sobrelevada, erigida sobre a construção original de propriedade de outrem.

Alude ainda que o direito real de laje consiste na possibilidade de coexistência de unidades imobiliárias autônomas de titularidades distintas situadas em uma mesma área, de maneira a permitir que o proprietário ceda a superfície de sua construção a fim de que terceiro edifique a unidade destinta daquela originalmente construída sobre o solo. (Brasil, 2018)

Dentre os conceitos cartográficos pertinentes a temática desse estudo, recupera-se o conceito de núcleo urbano, conforme artigo 11 da lei de laje, onde lê-se: "assentamento humano, com uso e características urbanas, constituído por unidades imobiliárias de área inferior à fração mínima de parcelamento prevista na Lei 5.868, de 12 de dezembro de 1972, independentemente da propriedade do solo, ainda que situado em área qualificada ou inscrita como rural;"

E também, outros conceitos vínculados à toponímia cartográfica presentes no artigo 11 da Lei 13.465/2017: "[...] II - núcleo urbano informal: aquele clandestino, irregular ou no qual não foi possível realizar, por qualquer modo, a titulação de seus ocupantes, ainda que atendida a legislação vigente à época de sua implantação ou regularização."

Ademais, "III - núcleo urbano informal consolidado: aquele de difícil reversão, considerados o tempo da ocupação, a natureza das edificações, a localização das vias de circulação e a presença de equipamentos públicos, entre outras circunstâncias a serem avaliadas pelo Município."

A mesma lei acrescenta ainda: "IV - demarcação urbanística: destinado a identificar os imóveis públicos e privados abrangidos pelo núcleo urbano informal e a obter a anuência dos respectivos titulares de direitos inscritos na matrícula dos imóveis ocupados, [...]."

Agrega sobremaneira, outras definições que auxiliam na compreensão propriamente dita da lei em epígrafe, são elas:

> [...]
> I - Reurb de Interesse Social (Reurb-S) - regularização fundiária aplicável aos núcleos urbanos informais ocupados predominantemente por população de baixa renda, assim declarados em ato do Poder Executivo municipal; e
> II - Reurb de Interesse Específico (Reurb-E) - regularização fundiária aplicável aos núcleos urbanos informais ocupados por população não qualificada na hipótese de que trata o inciso I deste artigo. [...]

> V - Certidão de Regularização Fundiária (CRF): documento expedido pelo Município ao final do procedimento da Reurb, constituído do projeto de regularização fundiária aprovado, do termo de compromisso relativo a sua execução e, no caso da legitimação fundiária e da legitimação de posse, da listagem dos ocupantes do núcleo urbano informal regularizado, da devida qualificação destes e dos direitos reais que lhes foram conferidos;
> VI - legitimação de posse: ato do poder público destinado a conferir título, por meio do qual fica reconhecida a posse de imóvel objeto da Reurb, conversível em aquisição de direito real de propriedade na forma desta Lei, com a identificação de seus ocupantes, do tempo da ocupação e da natureza da posse;
> VII - legitimação fundiária: mecanismo de reconhecimento da aquisição originária do direito real de propriedade sobre unidade imobiliária objeto da Reurb;
> VIII - ocupante: aquele que mantém poder de fato sobre lote ou fração ideal de terras públicas ou privadas em núcleos urbanos informais.

Definidos os principais conceitos pertinentes ao foco principal desse artigo, busca-se de imediato apresentar de forma comentada as alterações impostas pela legislação e que têm gerado interpretação difusa, às vezes, em diferentes setores que diretamente abrigam à execução dos artigos dessa lei. Assim é o caso das imobiliárias, das agências financiadoras de empréstimos para construção civil, das incorporadoras, dos tabelionatos, dos registros de imóveis, entre tantos outros entes que orbitam no prisma jurídico das alterações trazidas pela Lei 13.465/2017.

### 2.2 Considerações preliminares sobre a Lei 13.465/2017

No art. 5º da Constituição Federal do Brasil (1988) são elencados direitos fundamentais ligados ao Princípio da Dignidade Humana, como é o direito à moradia. Mas, esse direito não está plenamente atendido pelas políticas de estado, nem tão as de governo. (Brasil, 1988)

Ao observar a paisagem urbana nacional, é fácil notar que as construções irregulares crescem exacerbadamente, especialmente em espaços formadores dos grandes aglomerados urbanos. Fato comum é encontrado na maioria da população desassistida em seu direito à moradia, o que força a urbanização anômala nas áreas urbanas periféricas da conurbação urbana do país apontando, entretanto, que nem todas as construções irregulares se enquadram nesse perfil de carência econômica.

O acesso informal ao solo e consequentemente à moradia é um dos maiores problemas das últimas décadas, fortemente agravado pela falta de políticas habitacionais adequadas para atender a população mais carente. As populações de baixa renda não alcançam o acesso de terras urbanas legalizadas, devido ao alto custo deste solo, decorrente de uma regulamentação elitista.

Como reflexo da política habitacional brasileira, são as construções populares de baixo custo, criadas para atender a demanda de crescimento de famílias de baixa renda, são os chamados "puxadinhos". O Estado, enquanto ente garantidor dos direitos sociais, se omite à construção de uma política pública de habitação, e essa omissão estatal gera uma onda de construções irregulares na maioria dos centros urbanos brasileiros.

E esse fenômeno urbano acarreta na indisponibilidade de infraestrutura capaz de suprir, ou manter pelo menos, serviços essenciais e básicos com água, energia, saneamento, entre outros.

Ademais, a construção ilegal de novos espaços, em geral, não possui registro de uso, posse ou propriedade, por estar irregular com a legislação, o que gera dificuldades jurídicas, uma vez que é considerada apenas uma extensão da unidade base e dela apenas faz parte. Essa irregularidade dificulta o exercício do direito a sucessão ou a alienação.

Há que se ressaltar, porém, que a construção da laje de forma irregular não está restrita apenas a áreas ocupadas ou invadidas por pessoas de baixa renda, mas pode-se ser observada nas mais diversas áreas dos espaços urbanos e alcança todos os estratos sociais.

Como afirma Farias (2018, p.22): "sobre a laje firmou-se a visão de condições de carência de recursos ou aglomerados não urbanizados, quando, na verdade, em qualquer esfera econômica é possível detectar tal fato."

Diante dessa conjuntura habitacional, a regularização fundiária no país passou a ter necessidade de efetivação, quando foi editada a Medida Provisória 759/2016 que altera o artigo 1.225 do Código Civil Brasileiro que em seu inciso XIII cria o direito real a laje, vindo a se transformar, por meio da Lei 13.465/2017, em um tópico específico dentro do próprio Códex Civil. Há que se fazer menção ainda a discussão imposta pelo Estatuto da Cidade (2001), especialmente em seu artigo 21 § 1º, que direta ou indiretamente fomenta a discussão sobre o direito de superfície, onde preconiza: "Art. 21. O proprietário urbano poderá conceder a outrem o direito de superfície do seu terreno, por tempo determinado ou indeterminado, mediante escritura pública registrada no cartório de registro de imóveis.§ 1º O direito de superfície abrange o direito de utilizar o solo, o subsolo ou o espaço aéreo relativo ao terreno, na forma estabelecida no contrato respectivo, atendida a legislação urbanística."

É, porém, a partir da Medida Provisória 759/2016 que se reconhece o direito de laje como direito autônomo, novo instrumento jurídico para promover a regularização de milhares de construções feitas a partir dos pavimentos, o famoso "puxadinho" que se encontrava desprotegido legalmente por inexistência de regramentos.

Essa medida reconhece o direito de laje permitindo que se possa fazer a regularização dessa nova construção, porém, não permite que haja a laje sucessiva tão pouco esclarece o direito de preferência no caso de alienação ou transmissão do direito de laje e assim gerando a necessidade de reavaliar sua efetivação.

No âmbito da regularização jurídica da celeuma, a Lei 13.465/2017 chega trazendo mais clareza na aplicação desse novo instituto jurídico e introduz no Código Civil os artigos 1.510-A a 1.510-E. Efetiva o instituto do direito a laje para garantir segurança jurídica a diversas construções habitacionais irregulares espalhadas por diversas cidades brasileiras, que se encontram em desacordo com a legislação vigente. A inclusão do direito à laje como um direito real, traz para milhares de construções feitas a partir da laje a possibilidade de regularização, permitindo gozarem das prerrogativas que a lei confere ao proprietário da construção.

Farias (2017, p.24) comenta que: "O reconhecimento da laje no rol dos direitos reais, por meio do artigo 1.225, XIII, CC, viabiliza milhares de edificações por todo o país, dando aos envolvidos, segurança jurídica e estabilizando o direito sucessório, contribuindo, desta forma, para a pacificação social."

É por meio da Lei 13.465/2017, que se busca a regularização de inúmeros imóveis que se encontram à margem da lei, permitindo que o direito de laje possa ser instituído tanto pelo poder público como pelo particular.

O Código Civil Brasileiro (Brasil, 2018) se encarrega de conceituar o direito real de laje, quando explicita que: "Art. 1.510-A. O direito real de laje consiste na possibilidade de coexistência de unidades imobiliárias autônomas de titularidades distintas situadas em uma mesma área, de maneira a permitir que o proprietário ceda a superfície de sua construção a fim de que terceiro edifique unidade distinta daquela originalmente construída sobre o solo."

E no parágrafo 1º completa: "O direito real de laje contempla o espaço aéreo ou o subsolo de terrenos públicos ou privados, tomados em projeção vertical, como unidade imobiliária autônoma, não contemplando as demais áreas edificadas ou não pertencentes ao proprietário da construção base."

Na incipiente regulamentação do artigo 55, da Lei 13.465/2017, que trata sobre a laje, orbitam dúvidas como: a quem servirá, por exemplo, como piso para a outra construção superior ou consistirá em teto para o pavimento construído no subsolo, ou seja, de quem será essa "construção"? Vê-se que as definições e regulamentações a respeito estão inteligíveis nesse quesito.

É oportuno considerar que, a implementação da lei de lajes, trouxe alterações no Código Civil Brasileiro, que incluiu os artigos 1.510-A ao 1.510-E.

Além da alteração no Código Civil Brasileiro, a Lei 13.465/2017 também altera partes da Lei 6.015/1973, que dispõe sobre os registros públicos. Em seu artigo 176, item 9º ela diz que: "A instituição do direito real de laje ocorrerá por meio da abertura de uma matrícula própria no registro de imóveis e por meio da averbação desse fato na matrícula da construção-base e nas matrículas de lajes anteriores, com remissão recíproca."

De acordo com Gonçalves (2016) as normas da LRP deverão ser interpretadas em consonância com as novas regras editadas, constantes na Medida Provisória nº 759, considerando-se que se trata, não de uma mera construção em imóvel preexistente, de titularidade única (que exigiria mera averbação), mas sim, da constituição de um direito real em favor de terceiro, sobre unidade imobiliária autônoma (laje), funcionalmente independente (que passará a exigir matrícula). Nesse diapasão, o titular da laje responderá pelos encargos e tributos que incidirem sobre a sua unidade (§ 4º).

Inferência que se faz oportuna é o fato de que o instituto de laje assemelha-se ao que regulamenta as construções prediais e essas possibilitam a propriedade sobre fração ideal do solo. No entanto, o disciplinado pelo parágrafo 4º, da Lei 13.465/2017 faz um contraponto diferente, não permitido que a instituição do direito real de laje implique na atribuição de fração ideal de terreno ao titular da mesma. Ocorrendo, portanto, redundância de significações subbejivas em alguns pontos desses institutos.

Além disso, prossegue o autor, dada a autonomia registral que lhe foi conferida, o § 5º da MP admitiu ainda a alienação da laje: "as unidades autônomas constituídas em matrícula própria poderão ser alienadas e gravadas livremente por seus titulares, não podendo o adquirente instituir sobrelevações sucessivas, observadas as posturas previstas em legislação local". Paira certa dúvida quanto ao alcance e constitucionalidade desse dispositivo, na perspectiva do princípio da função social, no que tange à vedação de extensões ou lajes sucessivas. Uma vez que o legislador cuidou de conceder dignidade legal ao direito sobre a laje, desde que as limitações administrativas e o Plano Diretor sejam respeitados, sobrelevações sucessivas, regularmente edificadas, mereceriam, talvez, o amparo da norma.

Por fim, conclui o autor, interessante serão os reflexos do novo regramento no Direito de Família, na medida em que não é incomum o titular da construção original ceder a unidade sobrelevada a um parente, que passa a exercer direito sobre a unidade autônoma. Dependendo da circunstância, poderá, até mesmo, operar-se a aquisição do direito real de laje por usucapião, observados os requisitos legais da prescrição aquisitiva. E mesmo que a cessão seja gratuita, a título de comodato, se o cessionário passa a se comportar como titular exclusivo da laje, alterando o seu animus e a própria natureza da posse precária até então exercida, poderá, em nosso sentir, consolidar o seu direto sobre a construção sobrelevada (direito real de laje), mediante usucapião, contando-se o prazo.

Outro reflexo dessa Lei é o que atinge o Código do Processo Civil (Lei 13.105/2015), nos incisos X e XI do artigo 799, onde deixa claro que em casos de execução incumbe aquele que está realizando uma construção, também requerer a intimação do titular da construção-base, bem como, se for o caso, do titular de lajes anteriores, quando a penhora recair sobre o direito real de laje ou requerer a intimação do titular das lajes, quando a penhora recair sobre a construção-base.

No entanto, o envolvimento de terceiros supostamente não interessados, apesar de necessário, pode prejudica o andamento processual, causando desconforto e desgaste emocional para aqueles que não estão diretamente envolvidos no litígio.

Embora a Lei 13.105/2015 seja um instrumento que permite a legalização da propriedade, ou parte dela, não terá o alcance pleno de mudar a realidade habitacional do país, pois essa prescinde e exige políticas públicas mais abrangentes e efetivas, a curto, médio e longo prazos. Entretanto, pode-se inferir que a lei supra tenta conferir dignidade legal a muitas famílias que viviam num vácuo normativo habitacional, o que parece ter sido minimizado, em parte, pelo menos.

### 2.3 Direito de Laje

Com o fenômeno do êxodo rural, aceleração do crescimento urbanístico e a necessidade de sustentabilidade nas cidades, o direito de superfície veio para garantir o direito de acesso à moradia digna e promoção da paz social. Por meio da evolução do direito de superfície, no Brasil, surgiu o direito de laje (por alguns doutrinadores, chamado de direito de sobrelevação ou direito de superfície em segundo grau).

De acordo com Gondinho (2001), "é o denominado direito de mais elevação ou de sobreedificação, que faculta ao superficiário a elevação da altura de seu prédio dentro dos limites estabelecidos pela legislação urbanística."

Importante ressaltar que esse instrumento só poderá ser utilizado se estiver previsto no Plano Diretor da Cidade, já que é um instrumento de direito urbanístico. Em cidades com número de habitantes superior a vinte mil habitantes, bem como naqueles municípios descritos no artigo 41 do Estatuto da Cidade e a Constituição Federal (CF) obriga a aprovação desse plano pela Câmara Municipal, em seu artigo 182.

Sobre a regulamentação do direito de laje, devem ser observados os seguintes pontos: " a) ele é positivação de um direito real já preexistente, com vista à regularização fundiária de milhares de imóveis no Brasil; b) há uma abertura de matrícula de registro autônoma; c) representa uma fração do direito de superfície; d) é a expressão popular para a construção de novos pavimentos sem formalização do direito de superfície, […]."(Tepedino, 2017)

Conforme Mazzei (2007), há casos de existência de um único bem imóvel que na hora da partilha judicial, um dos (ex) cônjuges passa a construir sobre a laje, ao passo que o outro adquire para si a construção já edificada. São situações corriqueiras no mundo dos fatos, mas que não tinham ainda resposta adequada do ordenamento jurídico. Privilegiam-se com o recente direito de laje interesses próprios e das gerações existentes.

Atualmente, pode-se observar a possibilidade de regularização fundiária das favelas brasileiras a partir da positivação do direito de laje. O processo de favelização do país foi muito acentuado nas últimas décadas, sendo que muitas delas formaram característicos "guetos", nos quais se aglomeram populações desfavorecidas em espaços de território reduzidos, assinalados por um aviltamento físico e social, em flagrante violação ao princípio da dignidade humana. E, no mesmo período, como contraste e de forma antagônica, despontaram os condomínios fechados (gated communities), os quais se apresentam como sendo os autênticos "guetos dos ricos".

O Brasil vive à mercê das desigualdades sociais: de um lado, favelas ilustrando pobreza, desemprego e violência e de outro, bairros nobres e condomínios fechados exarando luxo e riqueza nas mãos de poucos. Não obstante, políticas públicas de urbanização historicamente privilegiaram favorecidos, sendo que para fins de inclusão e minimização de desigualdade social, criminalidade e violência juntamente o contrário deveria ser feito.

Assim, o direito de laje vem também como resposta a estas demandas por maior igualdade e justiça social nas cidades brasileiras, retirando da condição de "invisibilidade" que as favelas passaram perante o Direito. Edificações em áreas nobres geralmente não são atingidas pelos efeitos do direito de laje, pois se tratam de obras planejadas segundo leis de ocupação de solo urbano (obedecem ao Plano Diretor e às normas vigentes sobre condomínio edilício); já as favelas, sofrem com a questão do "jeitinho brasileiro", sem regularização, com construções improvisadas e precárias, nesse caso, o "puxadinho". O direito de laje ainda é desconhecido pela maioria das pessoas, e não recebe tratamento adequado pelo legislador municipal, responsável pela sua concretização.

De nada adianta a lei federal dispor sobre o direito de laje, se não for acompanhada da competente regulamentação em âmbito municipal (art. 30, inciso I da Constituição Federal). Necessita-se de maior reflexão doutrinária, conhecimento dos operadores jurídicos e políticos, bem como aprimoramentos em âmbito municipal para a efetiva concretização do instituto "direito de laje".

Nas palavras de Carbonari (2007) o direito de laje refere-se ao poder de disposição que o proprietário da construção tem sobre o espaço aéreo imediatamente superior à sua construção e que, pela cultura popular desenvolvida nas favelas, lhe pertence por direito.

A laje, para a vida social praticada na favela, tem um importante papel nas atividades comunitárias dos seus moradores. Uma vez que, normalmente, nas construções não existem áreas do solo destinadas a recreação, pois cada espaço geográfico é ocupado, a laje acaba desempenhando o papel de extensão da construção no que se refere às áreas de lazer e torna-se palco das reuniões sociais com as famílias e com os amigos nos finais de semana, do cultivo de plantas e dos mais diversos interesses dos moradores, sendo facultado a estes que vendam o direito sobre a laje, para que outra pessoa nela edifique sua moradia.

Para além da extensão da laje, nasce a apropriação do direito dessa, decorrente das relações com a família, pois com o surgimento de um novo grupo familiar, o pai ou a mãe cede o direito de laje, para que o filho, ou filha, edifique nela sua moradia.

Analisando a questão das construções que possuem os moradores das favelas, na relação de fato e de direito, verifica-se que a concessão sobre elas é informal. Isso acontece, pois o solo na grande maioria das situações pertence ao poder público, ou a outro particular, que muitas vezes nem eles próprios sabem quem é. O que realmente importa é a construção, portanto o direito que têm resume-se à construção.

Dessa forma, assegura como nenhum outro instrumento jurídico o direito à moradia, cooperando com os princípios da função social da propriedade, da isonomia e da dignidade da pessoa humana. E a grande vantagem é que agora a laje foi recepcionada pelo direito positivado, já não está mais na informalidade. Cabe ao Poder Público, e também aos cidadãos e associações de moradores, nas favelas, trazer para a legalidade sua posse, com a competente regularização fundiária urbana (REURB) de suas moradias.

## 3. PERCEPÇÕES DE ARQUITETOS E OUTROS ATORES SOCIAIS SOBRE A LEI 13.465/2017

O direito de laje inserido no Código Civil Brasileiro produziu alguns impactos na urbanização nacional. Embora a disciplina da lei ainda tenha seus efeitos um tanto que desconhecidos, essa poderá ter impactos relevantes, uma vez que contém norma que interfere diretamente nas prerrogativas profissionais dos arquitetos, entre outros atores sociais.

Em contrapartida, para o mercado imobiliário essa pode ser solução cabível, pois diversas propriedades deixam de ser negociadas por apresentarem imóveis em laje o que impede de serem comercializados de forma legal. Esses mecanismos, de certo modo, facilitam a regularização o que remete ao aumento da venda de imóveis.

Por se tratar de uma temática recente e polêmica os juristas e especialistas no direito imobiliário continuam a estudar e debater em relação a todos esses dispositivos, visto que tratam de situações de imóveis particulares, pertencentes a entes públicos como à União, aos Estados e Municípios além da regularização fundiária rural, entre outros, que afetam direta e cotidianamente o meio e a vida social.

Contribuição doutrinária tem emanado do Supremo Tribunal Federal (2017) que ao julgar a Ação Direta de Inconstitucinalidade (ADI), com pedido de medida liminar, interposto pelo Instituto Nacional dos Arquitetos, dirigida contra dispositivos da Lei 13.465, de 11 de julho de 2017, que dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal, institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União, e altera diversos diplomas legais, manifesta que o requerente alega a inconstitucionalidade da Lei 13.465/2017, na parte em que cuida da regularização fundiária urbana (artigos 9º a 84, 87 a 90, 93, 95 e 98), por afronta ao modelo constitucional de política urbana estabelecido pelos artigos 24, inciso I; 30, inciso I eVIII; 182 e 183 da Constituição Federal.

A entidade de classe supra mencionada, mediante o Supremo, afirma que o instituto da legitimação fundiária (Lei 13.465/2017, artigos 23 e 24) é incompatível com a proteção constitucional da propriedade (artigo 5º, incisos XXII, XXIII e XIV), o devido processo legal (artigo. 5º, inciso LIV), a competência comum para conservação do patrimônio público (artigo 23, inciso I), à função social da propriedade na ordem econômica (artigo 170, inciso II e III) e o regramento para desapropriação e usucapião de imóveis urbanos (artigos 182, parágrafo 4º, inciso III e 183, parágrafo 3º). (CF, 1988)

Prossegue ainda, a entidade classista, manifestando o ato de inconstitucionalidade formal pelo desrespeito à autonomia municipal para dispor sobre ordenamento urbano. A petição inicial aponta inconstitucionalidade formal da Lei 13.465/2017, na parte em que cuida da regularização fundiária urbana, a União, por extrapolar a competência, dispôs sobre normas gerais e adentrou na esfera de atribuição dos municípios.

Em seus argumentos, está que: "a complexidade da regularização fundiária urbana exige que a lei federal seja sempre extremamente cuidadosa e, portanto, limitada em suas medidas, sob pena de partir de generalizações e produzir padronizações que não se adequam a realidades municipais distintas".

Cabe ressaltar que a Constituição Federal de 1988 consolidou o papel central das municipalidades no planejamento da política urbana e na elaboração do plano diretor. O artigo 24, inciso I, define a competência concorrente da União, dos Estados e do Distrito Federal para tratar sobre direito urbanístico, cabendo ao primeiro ente a criação de normas gerais. O artigo 30, inciso I estabelece a competência municipal para legislar sobre assuntos de interesse local, o artigo 30, em seu inciso VIII, confere a esses entes federados a atribuição de promoção adequada do ordenamento territorial, do parcelamento e da ocupação do solo urbano. Além disso, o artigo 182, parágrafo 2º, define a competência normativa do plano diretor, instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes.

É oportuno lembrar que a atenção dada aos municípios pela Constituição Federal no que se refere à política urbana é apropriada e necessária, uma vez que o ente político mais próximo das cidades tem melhores condições e estrutura para identificar as dinâmicas e demandas vividas por cada centro urbano.

Dessa forma, no sistema constitucional de repartição de competências, à União cabe o delineamento geral do direito urbanístico com o estabelecimento de diretrizes, de maneira que haja espaço para a atuação do município, a quem cumpre adequar o regramento geral às particularidades locais. Conforme tese de repercussão geral fixada pelo Supremo Tribunal Federal: "os Municípios com mais de vinte mil habitantes e o Distrito Federal podem legislar sobre programas e projetos específicos de ordenamento do espaço urbano por meio de leis que sejam compatíveis com as diretrizes fixadas no plano diretor" (RE 609.740/DF).

Despacho exarado pelo então ministro Teori Zavascki (DJe 25/2/2016), dá conta de que a competência municipal não se esgota na elaboração do plano diretor, cabendo a edição de outros atos legislativos municipais para dispor sobre política urbana, desde que em consonância com o primeiro.

E afirmava ainda, que essa competência é intramunicipal e exclusiva, no que se refere à elaboração do plano diretor, limitada pelas diretrizes gerais da lei federal. Não cabe, portanto, interferência da União e dos Estados, ressalvada a legislação sobre diretrizes gerais.

Carmona (2016, p.28) ao analisar as normas constitucionais sobre política urbana, afirma que: "a cidade se torna o paradigma de interesses específicos a serem criados ou regulamentados, de acordo com suas especificidades, regionalismos, necessidades e, por que não dizer, hábitos e costumes característicos."

O autor prossegue seu raciocínio defendendo a existência de funções sociais da cidade:

> […] inevitável consideramos a existência de funções sociais das cidades em detrimento de uma função social determinada ou preestabelecida. Tendo a compreensão de cidade como um complexo de situações geográficas e percepções econômico-sociais distintas, soma-se ao argumento a própria característica de existência de uma cidade, que nos sustenta em fundamento, pois trata-se de algo dinâmico, mutável, em construção e reconstrução constante, no qual suas demandas sociais e econômicas alteram-se e continuarão necessitando de reformulações na medida em que continuam se desenvolvendo, progredindo ou simplesmente crescendo em população: logo, funções sociais das cidades em conformidade com suas peculiaridades. (2016, p.28 ss)

Considerando os aspectos de dinamismo e mutabilidade das cidades, resta evidente a necessidade de espaço para a atuação legislativa dos municípios, sob pena de afronta à sua autonomia e às normas constitucionais de política urbana.

A Lei 13.465/2017, com o intuito de definir novo regramento sobre regularização fundiária urbana, a União não respeitou o protagonismo municipal sobre o tema e extrapolou sua competência ao editar normas gerais.

Dessa forma, pela nova legislação, caso o município queira promover a regularização fundiária urbana de determinada ocupação, deverá adotar os conceitos de núcleo urbano elencados no artigo 11 da Lei 13.465/2017, o que poderá resultar efetivamente na ampliação ou definição do perímetro urbano e na alteração do plano diretor. Assim, consequentemente sujeita os profissionais envolvidos a se adequarem aos novos moldes legislativos a fim de orientar seus clientes na implicação prática que essa alteração ocasiona.

O art. 9º da Lei 13.465/2017, estabelece que a regularização fundiária urbana destina-se à incorporação dos núcleos informais urbanos ao ordenamento territorial e à titulação de seus ocupantes. O dispositivo reduz a política pública à perspectiva imobiliária, desconsiderando o viés urbanístico necessário por força das normas constitucionais.

O art. 46 da Lei 11.977/2009, que tratava sobre a matéria antes da edição da Lei 13.465/2017, definia que a regularização de assentamentos e a titulação de seus ocupantes deveriam ser realizadas com foco no direito à moradia, no pleno desenvolvimento das funções sociais da propriedade urbana e no direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

No que se refere ao procedimento administrativo para implementação da regularização fundiária, o IAB sustenta, fazendo um paralelo com o regime anteriormente vigente, que a lei federal limita as escolhas dos entes municipais, deixando lhes apenas a competência executiva (Lei 13.465/2017, artigos 28 a 54). Ao contrário da legislação anterior, que facultava ao município a regulamentação do procedimento de regularização Lei 11.977/2009, artigo 49, em contrapartida a Lei 13.465/2017 dispõe ostensivamente sobre o tema, estabelecendo todas as fases dos procedimentos e definindo as competências dos Municípios.

Assim, de maneira breve e de acordo com o Supremo Tribunal Federal, pode-se dizer que a Lei 13.465/2017 atua além da competência da União para legislar sobre normas gerais e avança sobre a competência dos Municípios, ignorando a posição de protagonismo desses entes acerca das matérias urbanísticas. Ao esmiuçar o procedimento de regularização fundiária urbana, o diploma impugnado afronta à autonomia municipal, necessária para o desenvolvimento da política urbana. E conclui, afirmando que dessa forma, padece de inconstitucionalidade formal a Lei 13.465/2017, sobre a referida impugnação

Como princípio orientador do tema, devem estar os objetivos fundamentais da República, constantes do art 3º, incisos I e III da Constituição Federal, que são: "da construção de sociedade livre, justa e solidária, de erradicação da pobreza e da marginalização e de redução das desigualdades sociais e regionais." Também não podem ser ignorados os princípios fundamentais da cidadania e do valor social do trabalho, presentes no artigo 1º itens II e IV. (Brasil, 1988).

Dessa forma, percebe-se que o constituinte originário não só reconheceu mas também preocupou-se com a situação de desigualdade e pobreza que caracterizam o Estado Brasileiro, de modo que tais aspectos não podem ser desconsiderados na formulação e implementação de política pública sobre direito à moradia. A propriedade é objeto de diversas normas da Constituição da República, sendo retratada no artigo 5º, incisos XXII e XXIII o qual garante o referido direito de acordo com a sua função social. O princípio da função social da propriedade constitui também princípio da ordem econômica (artigo 170, inciso III, CF), orienta a atividade das empresas estatais (artigo 173, parágrafo 1º, inciso I, CF), insere-se nas normas sobre política urbana (artigo 182, parágrafo 2º CF), autoriza a desapropriação de imóveis rurais

para fins de reforma agrária (artigo 185, parágrafo único CF) e define critérios para a propriedade rural (art. 186, CF). (Brasil, 1988).

O direito de propriedade assegura a faculdade de usar, gozar e dispor da coisa, bem como o direito de reavê-la do poder de quem quer que injustamente a possua ou a detenha. A propriedade representada pela titularidade formal do bem de seu titular, apresenta efeito *erga omnes*.

A função social, por sua vez, condiciona o exercício desses atributos, que deve ser orientado não só para a satisfação de interesses privados, mas também para o atendimento dos interesses da coletividade.

Por sua vez, o direito à moradia está intrinsecamente relacionado com o princípio da dignidade humana, uma vez que consubstancia um dos direitos essenciais para a garantia das condições materiais básicas de uma vida digna, e não se confunde com o direito à propriedade. (Sarlet, 2013).

Conforme aponta Sarlet (2013), o texto constitucional não traz parâmetros explícitos quanto à definição do conteúdo do direito à moradia, cumpre registrar o esforço legislativo e jurisprudencial no sentido de recepcionar e, em alguns casos, adequar ao contexto interno, os critérios materiais desenvolvidos no âmbito do sistema internacional, como são exemplo a segurança jurídica da posse, a disponibilidade de infraestrutura básica capaz de assegurar condições saudáveis de habitabilidade, o acesso a serviços essenciais e o respeito às peculiaridades locais, inclusive em termos de identidade e diversidade cultural da população, como propõem os órgãos da Organização das Nações Unidas.

Em relação à entidade classista representante dos arquitetos essa aponta que, enquanto estiver em vigor a Lei 13.465/2017, pode acirrar conflitos fundiários e possibilitar a perda de bens públicos e a configuração de situações irreversíveis para a sociedade, "especialmente na configuração dos espaços urbanos e na garantia de direitos fundamentais". Para entidade classista dos arquitetos há inconstitucionalidade dos dispositivos questionados.

Para a maioria dos atores sociais apresentados nessa revisão, a inconstitucionalidade é pertinente, assim, não sendo sanado esse conflito legal, permanecem os atos jurídicos sob o manto da normatização federal. Considera-se ainda a inobservância das necessidades locais, possivelmente ocasionando o não atendimento das demandas peculiares de urbanização.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desse artigo, pode-se afirmar que a figura jurídica do direito real de laje, presente na Lei 13.465/2017, merece destaque nos dias atuais, uma vez que, é um instituto inovador quando se trata no aumento da oferta de moradias nas cidades brasileiras. Assim, cumpre com maior efetividade a função social da propriedade e da garantia de uma vida digna para um maior número de pessoas.

Por sua vez, o direito de laje, relativamente novo no ordenamento jurídico brasileiro, proliferou ainda mais as possibilidades de pluralização da moradia, eis que possibilitou a inserção de mais um superficiário sobre o terreno, aumentando o número de moradias em um só espaço físico. Trata-se de uma alternativa de regularização fundiária para a realidade brasileira, que convive com o contraste entre a urbanização regular e a urbanização anômala, representada por favelas e outras habitações irregulares.

A ampla discussão sobre o princípio fundamental da dignidade da pessoa humana e sua relação com o direito de superfície explicitou que todos são iguais em direitos e deveres, todos têm os mesmos direitos fundamentais e dignidade e, portanto, recebem igual amparo do direito à moradia digna, capaz de suprir todas as necessidades básicas de qualquer ser humano, independentemente de seu lugar de situação. O Código Civil Brasileiro e o Estatuto da Cidade não corrigiram, sozinhos, todas as imperfeições sociais decorrentes de anos de informalidade e desdém com a urbanização. Mas abriram o caminho para solucionar o problema de regularização fundiária, da falta de moradias, dos terrenos ociosos de caráter meramente especulativo.

Os diferentes atores sociais, cada um a seu modo, discutem sobre a competência legislativa: a União apenas definir parâmetros e os Municípios por seu turno, disciplinar, pelo de fato de estar mais próximo das mazelas sociais e, portanto, com fulcro Constitucional, viabiliza a operacionalização do atendimento as fragilidades e peculiaridades locais com maior agilidade. Para esses, o poder público deve dar destinação social para imóveis desocupados, por vezes, em decorrência de inúmeros entraves do regime jurídico administrativo brasileiro.

Pode-se afirmar que a situação habitacional brasileira não depende somente de regramentos jurídicos, mas de políticas públicas mais efetivas e eficazes, atentas à ambiência onde os fatos ocorrem, indo além da pseudo e abstrata dignidade legal, onde o direito à moradia está intrinsecamente relacionado com o princípio da dignidade humana, uma vez que substancia um dos direitos essenciais para a garantia das condições matérias básicas de uma vida digna, ou seja, a cidadania plena.

## 5. REFERÊNCIAS

Brasil, 1988. *Constituição Federal. Brasília.*

Brasil, 2001. *Lei Federal 10.257/2001.* Estatuto da Cidade. Brasília. DF.

Brasil, 2017. *Ministério Público Federal.* Supremo Tribunal de Justiça. Procuradoria-Geral da República. ADIC 5.883. Brasília.

Brasil, 2018. *Código Civil 2002.* Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Código Civil. Ed. rev. e atual.

Carboanri, S. R. de A., 2007. *A função social da propriedade territorial urbana e a concretização do direito de moradia digna: o novo papel do direito de superfície.* São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Carmona, P. A. C.; Mendes, L. J. M., 2016. Função Social da Cidade: Norma-Princípio, Cláusula Geral ou Conceito Jurídico Indeterminado? In: *Revista Magister de Direito Ambiental e Urbanístico.* Nº 65, abr-maio.

Farias, C. C. de; Rosenvald, N, 2017. *Curso de Direito Civil: contratos* – 7. ed. rev. ampl. e atual. – Salvador: Ed. Juspodivm.

Farias, C. C. de; Debs, M. E.; Dias, W, 2018. I. *Direito de Laje: do puxadinho a digna moradia.* Salvador: JusPodvim.

Ferreira, M. A. B. H, 2016. *Dicionário Aurélio.*

Gondinho, A. P. da R. O, 2001. *Direitos reais e autonomia da vontade (o princípio da tipicidade dos direitos reais).* Rio de Janeiro: Renovar.

Mazzei, R. R., 2007. *O Direito de Superfície no Ordenamento Jurídico Brasileiro.* 406 f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Direito da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo. <http://www.dominiopublico.gov.br/download/teste/arqs/cp040916.pdf.>

Sarlet, I. W, 2013. *Comentário ao art. 6.º***.** In: Canotilho, J. J. Gomes; Mendes, G. F.; Streck, L. L.; (Coords.). Comentários à Constituição do Brasil. São Paulo: Saraiva; Almedina.

Tepedino, G., 2017. *Os direitos reais no novo Código Civil*. In: Tepedino, G. Temas de Direito Civil. Tomo II. Rio de Janeiro: Renovar.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Civil:

# Construção Civil / Materiais de Construção / Meio Ambiente

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO SOBRE O USO DA NANOTECNOLOGIA NA PRODUÇÃO DE TINTAS TERMO ISOLANTES

**Alana Saccomori Giesel, Fernanda Andressa Gauer, Alessandro Emilio Valmorbida, Raiane Luiza Balestrin Bez e Helen Balestrin**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (Erechim), RS 331, nº 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
alanagiesel@gmail.com, gauerfg@gmail.com, alessandroev@uricer.edu.br, raianebbez@gmail.com, helenbalestrin@hotmail.com

**Resumo:** *A ideia deste artigo, é trazer informações através de um método de pesquisa focado no estado do conhecimento, sobre aspectos relacionados as criações arquitetônicas, levando-se em consideração dentre outras questões o conforto térmico e quando este conforto pode ser melhorado com a aplicação das cores, além de pesquisas sobre o uso da nanotecnologia aplicada em tintas termo isolante, ou seja, a viabilização de todos os tons e cores de tinta mantendo, ou aumentando ainda mais, o conforto térmico das edificações e novas tecnologias. Os materiais de construção, assim como tudo ao nosso redor, estão cada vez mais avançando tecnologicamente. Avanços esses, que proporcionam a expansão da criatividade, liberdade de criação e, simultaneamente, da sustentabilidade e conforto. Um desses grandes progressos tecnológicos é a nanotecnologia que trabalha com a matéria em escala nanométrica, responsável por incríveis evoluções de inúmeros materiais, sendo que alguns deles ligados a construção civil. Na arquitetura, muitos são os quesitos necessários para a execução de um bom projeto, como conforto térmico, acústico, visual, sustentabilidade, acessibilidade, estética, funcionalidade, e muito mais, tudo isso atrelado aos gostos dos clientes e a topografia do terreno, logo, a nanotecnologia não só vem ao encontro desses preceitos, como possibilita uma ascensão na liberdade projetual, para que novos estilos arquitetônicos sejam criados visando, sempre, o progresso na sustentabilidade, conforto ambiental, funcionalidade e estética. E o que se constatou no estudo é que o uso da nanotecnologia está avançando, mas ainda não aplicado a fabricação de tintas.*

***Palavras chave:*** *Conforto térmico, sustentabilidade, nanotecnologia, edificações.*

**Abstract:** *The idea of this article is to bring information through a research method focused on the state of knowledge, about aspects related to architectural creations, taking into consideration among other issues the thermal comfort and when this comfort can be improved with the application of colors. , as well as research on the use of nanotechnology applied in thermo insulating paints, ie the feasibility of all shades and colors of paint maintaining, or further enhancing the thermal comfort of buildings and new technologies. Building materials, like everything around us, are increasingly advancing technologically. These advances provide the expansion of creativity, freedom of creation and, at the same time, sustainability and comfort. One of these major technological advances is nanotechnology that works with matter on a nanometer scale, responsible for the incredible evolution of numerous materials, some of them linked to construction. In architecture, there are many requirements for a good project, such as thermal, acoustic, visual comfort, sustainability, accessibility, aesthetics, functionality, and much more, all linked to customer tastes and terrain topography. , nanotechnology not only meets these precepts, but also allows for a rise in design freedom, so that new architectural styles are created always aiming at progress in sustainability, environmental comfort, functionality and aesthetics. And what was found in the study is that the use of nanotechnology is advancing, but not yet applied to paint manufacturing.*

**Keyword:** *Sustainability, nanotechnology, thermal comfort, buildings.*

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das características de todo arquiteto é a criatividade para desenvolver edificações que tragam características como: serem funcionais, confortáveis tanto acusticamente quanto termicamente, sustentáveis e as mais econômicas possíveis, tudo isso aliado a um bom e belo design arquitetônico. O processo criativo se dá com a busca por entender novos mecanismos e novas ideias em exemplos de arquitetura por todo o mundo.

A arquitetura é a arte que se implica a cumprir uma série de complexos objetivos que, por vezes, quando não alcançados, comprometem o resultado final da obra. Tudo porque esses objetivos seguem uma ordem de prioridade, e acaba-se tendo que, em muitos casos, abrir mão de alguns aspectos com menos prioridade, como por exemplo a aparência estética, dando espaço a quesitos muito mais importante, como a sustentabilidade, conforto térmico, acústico, etc.

Uma etapa muito importante é escolher a cor da edificação, pois o estilo, a personalidade e muitas características do cliente, são evidenciadas, sejam eles pessoa físicas ou jurídicas. E, dessa maneira, objetiva-se criar uma conexão entre a casa e o morador, entre a loja e o público alvo pré-definido, entre o hospital e o paciente, etc. Logo, deduz-se que não se trata de uma tarefa fácil, além disso, ainda mais quando se tem uma grande variedade de paleta de cores e tons, pois essa escolha afeta, diretamente, o conforto térmico de todo e qualquer edifício.

A nanotecnologia veio para tornar possível muitas ideias, permitindo que se alcance um novo nível de criatividade, originalidade e conexão entre o edifício e o ser humano, potencializando os produtos para pintura, tornando-os termos isolantes, independentemente da cor ou do tom definido.

Tendo como base a contextualização citada, o objetivo desse artigo é possibilitar a quebra de bloqueios de criatividade, exponenciando e compatibilizando parâmetros sustentáveis e estéticos, e assim gerar grandes mudanças nas propostas projetuais de arquitetos urbanistas, com o uso da nanotecnologia aplicada em tintas termo isolantes e ainda assim atender a requisitos de certificações ambientais.

## 2. MÉTODO

O presente artigo adotou como método, o estado do conhecimento, fundamentada por dados secundários procedente de livros e artigos acadêmicos publicados, conforme figura 01.




Figura 1. Estrutura do Estado do conhecimento do artigo.
Fonte: Autores, 2019.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Importância da criatividade e da cor

No campo da criatividade é onde modifica o existente ou nasce o novo, tendo como base experiências vividas e experimentadas como impulsos para essa construção, e quando a criatividade está associado ao uso da cor, muitas possibilidades podem surgir. Na sequência será descrito aspectos importantes quando relacionados a criatividade e a cor.

#### 3.1.1 Criatividade

"Criatividade é um labirinto em que o difícil não é encontrar a saída, mas sim a entrada". Ruben Fonseca**.** (SOUZA, Bruno Carvalho Castro. 2001. 133f., grifo do autor).

A criatividade é a arte de saber analisar e filtrar referências visuais e sensoriais, e reaplicá-las de uma maneira original e exclusiva. Criar uma "coletânea" de referências é o grande objetivo de todo o profissional, pois quanto maior for a "bagagem intelectual", mais incríveis serão as propostas projetuais criadas.

É importante ressaltar que essa coletânea de referências deve ser complementada e atualizada frequentemente, pois vivemos na era da evolução, e é imprescindível se permitir evoluir. Sendo assim, é uma busca constante dada por pesquisas na internet, viagens, livros, palestras, seminários, congressos, visitas a amostras e, até mesmo, conversas e discussões informais. O homem cria, não apenas porque quer, ou porque gosta, e sim porque precisa; e ele só pode crescer, enquanto ser humano, coerentemente, ordenando, dando forma, criando. (OSTROWER, 1977).

#### 3.1.2 Cor

Segundo Heller (2012), a cor é uma sensação visual oriunda de um reflexo de luz sobre toda e qualquer superfície visível, pois, os objetos, em contato com os raios luminosos, optam por refleti-los ou absorve-los. Em última análise, apenas a sensação provocada pela ação da luz sobre a visão, quando se varia a qualidade, a quantidade, a forma e o posicionamento das áreas coloridas, provocam respostas com diferentes intensidades.

Cada estímulo visual tem características próprias, possuindo tamanho, proximidade, luz e cor. A percepção visual, portanto, é distinta para cada pessoa. (HELLER, 2012).

O processo de reflexão e absorção da luz envolve, consequentemente, o calor proveniente da luz solar. A pesquisadora Kelen Almeida Dornelles desenvolveu, na USP no ano de 2019, um gráfico que mostra quanto cada cor gera de calor, quando aplicadas em fachadas ou telhados de edificações, conforme pode ser visualizado na figura 2. (DORNELLES, 2019).

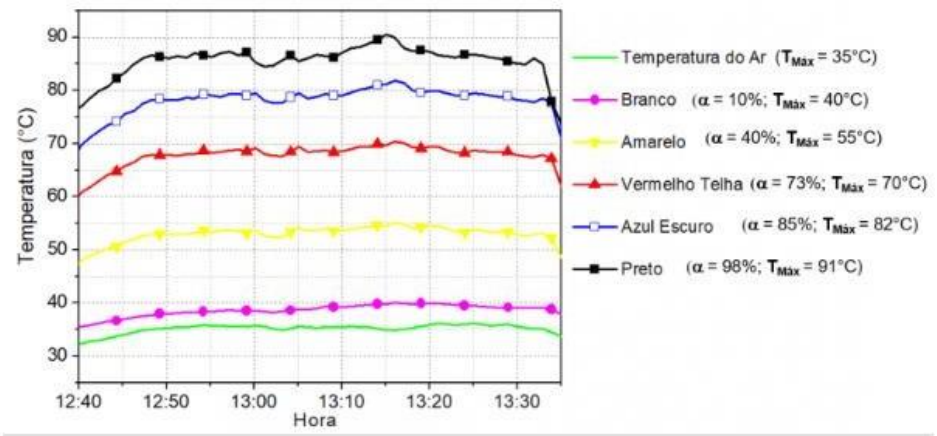



Figura 2. Temperatura absorvida por cada cor.
Fonte: Kelen Almeida Dornelles, 2019.

A pesquisadora introduziu amostras de tinta em um espectrofotômetro. O instrumento mede e compara a quantidade de luz absorvida, transmitida ou refletida por elas.

Logo, torna-se possível a compreensão de que cores escuras como preto, azul escuro e vermelho geram mais absorção de calor, enquanto o amarelo e o branco absorvem menos quantidade de calor, ou seja, refletem a luz.

Isopescu et al. (2015), da universidade técnica de Iasi, na Romênia, realizaram uma pesquisa e para melhor estruturá-la, efetuaram testes de tintas termo refletivas, ou seja, que não absorve o calor e mantém branda a temperatura interior do objeto estudado. Concluiram, com os testes, que a tinta refletora tem grande desempenho quando aplicada para barrar a entrada de calor (quando aplicada ao menos três demãos de tinta), porém não obteveram grandes resultados quanto ao isolamento de temperaturas baixas.

### 3.2 Conforto térmico

Um bom projeto arquitetônico segue preceitos irrevogáveis, como, por exemplo, o conforto térmico e a sustentabilidade. Preceitos esses que, para um bom desempenho, necessitam de compatibilização entre eles.

De acordo com Anesia Barros Frota e Suelli Ramos Schiffer (1995, p. 17).

> *A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico. A arquitetura como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem às condições climáticas externas.*

#### 3.2.1 A importância do conforto térmico para o ser humano

Podemos comparar o organismo humano com uma máquina térmica, que através do metabolismo adquire energia, porém apenas 20% é convertida em potencialidade de trabalho, ou seja, termodinamicamente falando, nosso rendimento é muito baixo. Os outros 80% são transformados em calor que é dissipado para o organismo, e assim, mantê-lo em equilíbrio. (SHIFFER, 2013).

Quando a temperatura externa não condiz, confortavelmente, com o corpo humano, acionamos a termorregulação, ou seja, um mecanismo natural que controla as perdas ou ganhos de calor. Um dos principais órgãos com essa função é a pele. (SHIFFER, 2013).

A termorregulação, por mais que seja uma reação natural do corpo humano, acaba diminuindo ainda mais a nossa produtividade. Dessa maneira, o organismo humano identifica um ambiente confortável termicamente quando não se dispõe desse mecanismo. (SHIFFER, 2013).

É impossível dizer, generalizadamente, qual a temperatura perfeita de um ambiente para o ser humano, pois deve-se levar em conta a época do ano, a localização, a umidade do ar, as atividades que exerce, a idade, o sexo e, até mesmo, as vestimentas. Logo, na projeção de qualquer recinto, torna-se necessário uma avaliação do local. (SHIFFER, 2013).

### 3.2.2 A importância do conforto térmico na arquitetura

O aquecimento global, de acordo com cientistas, é o maior responsável pelo efeito estufa, o que, com as mudanças climáticas, gera uma grande ameaça ao planeta terra. Segundo Iulian-Daniel Zăpodeanu**,** dados do Chartered institute of building do Reino Unido, mostram que 45% da energia global é direcionada a manutenção e funcionamento de edifícios, ou seja, na refrigeração, aquecimento e iluminação e, apenas 5% é direcionada para a construção do mesmo. Sabe-se que a geração de energia se dá com a combustão de combustíveis fósseis (gás, carvão, petróleo) que é a principal fonte de dióxido de carbono e, com isso, é responsável pela metade dos gases do efeito estufa. Em vista disso, vemos que a construção civil é a principal responsável pela degradação do meio ambiente. (ZAPONEANU, 2015).

Reduzir esse impacto ambiental é o objetivo primordial na busca do desenvolvimento sustentável e proteção dos recursos naturais do planeta terra, e é necessário declará-lo prioridade nos dias de hoje e, principalmente, no futuro.

Para isso, a tecnologia está diretamente atrelada na busca pela evolução, criando soluções que torna possível a redução do uso de recursos energéticos, tais como o desenvolvimento de materiais termo isolante, que são capazes de reduzir o consumo de energia pela capacidade de reparar pontes térmicas, presentes em edificações e responsável pela perda de calor, risco de condensação e desconforto. (ZAPONEANU, 2015).

Para garantir a perfeita eficiência do material de isolamento térmico, é necessário que a aplicação seja contínua em toda a superfície, como, por exemplo, uma camada de tinta termo isolante.

O desenvolvimento de materiais com a capacidade de isolar temperaturas externas torna possível a aplicabilidade de novos estilos arquitetônicos em ambientes até então, tidos como inapropriados. Como, por exemplo, nas figuras 3 e 4, apresentadas abaixo, vemos um diferente tipo de edificação, não muito visto no Brasil, pelo uso de cores escuras, como o preto, que, normalmente, contribuiriam para um enorme desconforto térmico, já que, sendo um país subtropical, o Brasil atinge temperaturas elevadas no verão. Se aplicado sem a presença de materiais eficientes termicamente, geraria, consequentemente, um crescimento de consumo energético e, logo, a progressão da degradação do meio ambiente.



Figura 3. Casa KDDK, de Karine Duque.
Fonte: Archdaily, 2019.



Figura 4. Cabanas em comportas, Studio 3A e Mima Housing.
Fonte: Archdaily, 2019.

### 3.3 Nanotecnologia

O estudo sobre a nanotecnologia teve início em 1976, por Claes-Göran Granqvist e Robert A. Buhrman, porém a expressão não foi empregada novamente até 1981, quando Kim Eric Drexler, publicou seu primeiro artigo sobre o termo. Ele divulgou a nanotecnologia e aumentou a conscientização da sociedade sobre o assunto e suas aplicações. (DIPL.-ING. DR. DAVID BOZSAKY, 2012)

Nos dias atuais, é de extrema importância a inserção da nanotecnologia em todas as áreas, principalmente na comunicação e informática, já na construção civil quando se fala em conforto térmico ela ganha ênfase. Para isso, a construção requer novos padrões, novas tecnologias, o que também resulta em resultados de alto padrão. (ZĂPODEANU, 2017)

O prefixo nano no mundo da nanotecnologia, significa 10^(-9). Para exemplificar, um fio de cabelo tem em média 30.000nm de espessura. Nessa escala, a matéria apresenta um comportamento especial devido aos efeitos quânticos que prevalecem até 10nm. Por exemplo, óxido de zinco é branco e opaco, mas na escala nanométrica ele é transparente.

Dentre as escalas que abrangem o mundo nano:

- Materiais nanoreforçados (mais usada);
- Materiais nanoestruturados em superfícies com propriedades de superfície previamente estabelecidas (metais);
- Materiais nanoestruturados em volume com modificação da nanoestrutura (cerâmicas).

Na arquitetura a nanotecnologia também pode ser utilizada, por exemplo, a adição de nanosilica a base de cimento pode aumentar a durabilidade e resistência à compressão. Também, com a adição de nanotubos ou nanofibras, a tração e a resistência à flexão de estruturas podem ser reforçadas. Os revestimentos à base de nanopartículas podem prover superior adesão, transparência, autolimpante, resistência a corrosão e proteção contra incêndio.

Já quando falamos em isolamento térmico, no mercado encontramos diversos materiais nanotecnologicos, são eles:

- Poliestireno expandido, incluindo aditivo de pó de grafite;
- Aerogel usado para isolar estruturas transparentes de edifícios;
- Painéis de isolamento a vácuo;
- Revestimentos de isolamento térmico nano-cerâmicos (DIPL.-ING. DR. DAVID BOZSAKY, 2012).

Joudi (2011) e W. Guoa (2012), através de experimentos de uma equipe de pesquisa em relação aos níveis de proteção térmica utilizando nanotecnologia, citam que o aquecimento ou resfriamento de um ambiente em questão precisa um menor uso de energia se usado à tinta termo refletiva, porém o efeito é mais percebido em períodos de tempo quente, sendo assim, a economia de energia seria maior para resfriar do que para esquentar.

Em uma pesquisa de Ali Akbar Azem, ele constata que o uso desse tipo de isolamento térmico é mais indicado para uso externo de edificações. D. Dias observa que usando este tipo de material refletor na extremidade de um edifício para resfriar o ambiente, a temperatura pode cair em até 5ºC, dependendo da localização geográfica. (ALI AKBAR AZEMATIA, 2013).

O conforto térmico provindo do isolamento com o uso de materiais baseados em nanotecnologia, se dá porque o transporte do calor de uma superfície para outra e dificultado e com isso há a diminuição da transferência de calor.

## 4. CONCLUSÃO

Logo, com base no estudo citado, vemos que as tintas refletoras seriam grandes aliadas na busca pelo objetivo da pesquisa deste artigo, a possibilidade de expandirmos nossa criatividade e abrangência de diferentes estilos arquitetônicos, pois, o Brasil, é um país subtropical que alcança temperaturas altas no verão.

No sul existem estações do ano bem definidas e em determinada (s) estação (ções) podem haver temperaturas mais baixas (próximas ou iguais a 0ºC), entretanto, a tinta ainda seria uma boa escolha, pois já é comum usarmos materiais que retenham o calor.

Neste estudo do estado do conhecimento, não se encontrou menção do uso da nanotecnologia na formação da tinta, porém, com o estudo apresentado nos tópicos anteriores presentes neste artigo, vê-se que há possibilidade da produção de materiais neste tipo ou até mesmo melhor e, assim, o objetivo de abrir o campo da criatividade do arquiteto pode se concretizar e tornar as construções muito mais sustentáveis.

## 5. REFERÊNCIAS

AZEMATIA, Ali akbar; HADAVANDC, Behzad Shirkavand; HOSSEINIB, Hossein; TAJARRODD, Abbas Salemi. 2013, Thermal modeling of mineral insulator in paints for energy saving, Energy and Buildings 56, pg. 109–114, Elsevier Ltd;

DIAS, Diana; MACHADO, João; LEAL, Vitor; MENDES, Adelio. 2014. Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building, Applied Thermal Engineering 65, pg. 273-281, Elsevier Ltd;

DORNELLES, Kelen Almeida. Pagar para fazer trabalho acadêmico é ilegal. Disponível em: <https://jornal.usp.br/universidade/cor-de-telhados-e-fachadas-pode-influenciar-temperatura-das-cidades/> Acesso em: 02 set. 2019.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo. 7. Ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

HELLER, E. Psicologia das cores: como as cores afetam a razão e a emoção. São Paulo1: Editora Gustavo Gili, 2012.

ISOPESCU, D. N. PRUTEANU, M. ZĂPODEANU, D. LEIZERIUC, A. Advanced thermal protection solution for construction. 15 th International SGEM GeoConference on. Technical University of Iasi, Romania 2015.

JOUDI Ali; SVEDUNG, Harald; BALES, Chris; RÖNNELID, Mats. 2011. Highly reflective coatings for interior and exterior steel cladding and the energy efficiency of buildings, Applied Energy 88, pg. 4655–4666, Elsevier Ltd;

OSTROWER, F. Criatividade e processo de criação. Rio de Janeiro. Editora Vozes. 187p. 1977.

SOUZA, B.C.C. Criatividade: uma arquitetura cognitiva. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/79512/187661.pdf?sequence=1> Acesso em: 01 set. 2019.

W. GUOA, X. Qiaoa, Y. Huanga, M. Fanga, X. Hanb, Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone, Energy and Buildings 50, 2012, pg. 196–203, Elsevier Ltd;

## 6. RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO SOBRE O USO DA TOPOGRAFIA NATURAL DO TERRENO APLICADA EM PROJETOS DE ARQUITETURA

**Calisiani Catiani Azzolini**
**Alessandro Emilio Valmorbida**
**Ed Wilson Schneider**
URI– ERECHIM, RS 331, Nº 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
caliazzolini@outlook.com; alessandroev@uricer.edu.br; edwilson@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O uso de recursos topográficos para a idealização e implantação de diferentes tipos de obras é fator fundamental para auxiliar neste processo. Aproveitar a topografia original dos terrenos para a construção de residência é um desafio interessante quando se pretende atender de uma melhor maneira o meio ambiente, e a diminuição de custos. Diferentes projetos já surgiram para mostrar que esta é uma alternativa atraente e que ao mesmo tempo proporciona um efeito arquitetônico bastante significativo. Neste sentido, a ideia deste artigo e trazer um breve estudo sobre três tipos de projetos que foram executados integrando e privilegiando a topografia original do terreno, alterando somente o estritamente necessário de sua composição.*

***Palavras chave:*** *Topografia original, Terrenos, Projeto Arquitetônico.*

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns profissionais como os engenheiros, arquitetos, silvicultores e geólogos, utilizam os dados gerados pela topografia como base para o planejamento e idealização de seus projetos, pois a topografia utiliza métodos e instrumentos que proporcionam o conhecimento da tipologia do terreno, e isso contribui para auxiliar e assegurar a execução e implantação dos serviços.

Em se tratando da conceituação em relação a palavra "Topografia", esta deriva das palavras gregas "topos" (lugar) e "graphen" (descrever), significando por sua vez a descrição exata e minuciosa de um lugar. (DOMINGUES, 1979).

Na arquitetura, tem sua serventia como norte para a idealização do projeto, integrando ele ao terreno ou se adequando o terreno ao projeto, só que neste aspecto não proporciona uma utilização sustentável e econômica.

Dentro deste contexto, e focado em questões ambientais, buscando manter as condições naturais dos terrenos utilizados para a execução das edificações, neste artigo buscou-se apresentar aspectos importantes que devem ser considerados quando se trata da implantação de projetos nestas condições.

A aplicação do projeto as condições naturais do terreno integrando-o a topografia original buscando a compatibilidade com a paisagem ou gerando uma estrutura adequada do projeto, contribui significativamente nas questões de redução de custos e, principalmente nas questões ambientais, pois não ocorre a movimentação de terra, o que por sua vez irá impactar o mínimo possível na topografia natural do terreno.

Então, a ideia do presente artigo, tem como objetivo apresentar um estudo com uma análise de projetos onde foram preservadas as condições topográficas do terreno, garantindo condições adequadas.

## 2. O USO DA TOPOGRAFIA E SUAS TÉCNICAS

Segundo Espartel (1987), a oportunidade de descobrir ainda mais o lugar que habitamos, colaborou com o surgimento e aperfeiçoamento da Cartografia. Com isso tornou-se indispensável a exploração da superfície da Terra, que ao representar uma pequena parte dela denomina-se Topografia.

Apoiada na geometria e na trigonometria a Topografia tem o objetivo de estudar a forma, posição relativa de uma pequena parte limitada da superfície terrestre e a dimensão. (ESPARTEL, 1987).

De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1991, p. 3), Norma Brasileira para execução de Levantamento Topográfico, o levantamento topográfico é definido por um conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhe visando a sua exata representação planimétrica numa

escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também pré-determinada e/ou pontos cotados.

Com o passar do tempo os equipamentos foram sendo modernizados facilitando e auxiliando na obtenção dos dados. Dentre estes equipamentos pode-se citar: o Teodolito, a Estação Total, e os recursos mais aprimorados como o GPS.

## 3. FORMAS DOS TERRENOS NATURAIS

Uma das etapas fundamentais da construção, é a escolha do terreno, sendo uma etapa que exige muita atenção e cuidados, devendo analisar os pontos positivos e negativos. A topografia do terreno, terá influência sobre o custo da construção, pois dependendo da inclinação do terreno, da quantidade de movimentação de terra, do tipo de fundações e contenções, mais serão os gastos que a obra gerará. As formas pelas quais os terrenos se apresentam nas cidades, podem ser de diferentes maneiras, como por exemplo: terrenos planos, terrenos com aclive, terreno com declive e terreno em encostas. (PRACONSTRUIR, 2019).

Conforme as informações do site PraConstruir (2019), será descrito brevemente algumas características que são verificadas neste tipos terrenos:

### 3.1 Terrenos planos

São terrenos em que praticamente tem o mesmo nível da rua, tanto na frente como no fundo, não apresentando desníveis. Esquematicamente pode ser visualizado na Figura 1 abaixo:



Figura 1. Terrenos planos
Fonte: PRACONSTRUIR

### 3.2 Terrenos com aclive

São aqueles que dão maior destaque a residência, pois o fundo do terreno é mais alto do que o nível da rua. Esquematicamente pode ser visualizado na Figura 2 abaixo:



Figura 2. Terrenos com aclive
Fonte: PRACONSTRUIR

### 3.3 Terrenos com declive

São terrenos que tem mais privacidade na área íntima da residência, porém é necessário buscar opções para a saída de tubulações hidrossanitárias, uma vez que o fundo dele é mais baixo que o nível da rua. Esquematicamente pode ser visualizado na Figura 3 abaixo:



Figura 3. Terrenos com declive
Fonte: PRACONSTRUIR

### 3.4 Terrenos em encontas

Flancos ou encostas, são as superfícies das elevações ou depressões, ligadas a uma vertente e que tem suas características físicas semelhantes aos terrenos em aclive ou declive.

## 4. ANÁLISES DE PROJETOS COM USO DA TOPOGRAFIA NATURAL DO TERRENO

Para realizar o estudo do uso da topografia natural do terreno no desenvolvimento de projetos de arquitetura, foram analisados três tipos de projetos de residências construídas com o uso natural da topografia.

### 4.1 Análise 1- Casa Grelha:

Os dados técnicos obtidos e descritos abaixo, para a análise 1 - Casa Grelha, foram coletados dos estudos do escritório FGMF, sendo os seguintes:

- Autores: Fernando Forte, Lourenço Gimenes, Rodrigo Marcondes Ferraz
- Localização: São José dos Campos, SP – Brasil
- Tipo de Construção: Residencial Unifamiliar
- Área do terreno: 68 mil m²
- Área construída: 3.123 m²
- Início do projeto: 2005
- Conclusão da obra: 2008

O escritório da FGMF tem por objetivo trazer aos seus projetos o privilégio da interdependência entre o objeto construído, o meio que o contém e o seu usuário.

Em uma área de 22 alqueires e com a topografia bastante acidentada, ao seu entorno grandes pedras e sendo o encontro para várias trilhas que chegam ao projeto.

Por ser uma região bastante úmida e com bastante privacidade, ligação com a natureza e a demanda por casa térrea foi sugerido o projeto de uma casa elevada ao solo.

Com módulos de 5,5x5,5x3m de uma grelha estrutural de madeira foi suspensa sobre o núcleo de acessos que conecta os caminhos já existentes e assim possibilitando em criar outras passagens, tudo para poder se adaptar a topografia.

Assim possibilitando de atravessar a estrutura ponte de três formas diferentes: por cima (pela continuidade do terreno que seria o teto jardim), por baixo (passando por um jardim com espelho d'água e pedras naturais) ou então pelo meio da casa (por uma circulação externa coberta).

Na grelha possui módulos que são ocupados tanto por ambientes fechados, como por ambientes totalmente vazados, assim possibilitando que as árvores do jardim inferior alcancem a estrutura. (FGMF, 2019).

Conforme imagem da Figura 4 a disposição dos ambientes na grelha é divido com áreas de serviço, quarto de hóspedes, sociais e apartamento do dono da residência e nos módulos isolados, dois quartos para os filhos. Os módulos vazios destacam a continuidade estrutural e os vãos que o jardim está. Com uma organização fragmentada do programa da grelha, se faz um jogo de cheios e vazios, de forma a resguardar a privacidade dos usuários e assim formando uma unidade coesa com a natureza e a residência. (FGMF, 2019).

Construindo uma nova paisagem a casa fica suspensa sobre o vale e fundida nos morros, ela se junta ao terreno e o terreno em casa. No vazio construído na grelha, tanto interno como externo, permite ser visto as pedras e o jardim, a mata virgem, as árvores e os muros de arrimos em pedra, onde a casa está localizada e integrada a natureza, conforme Figura 5. (FGMF, 2019).

Como se saísse do solo, a grelha em madeira está fixada em um conjunto de pilares de concreto e engastado no morro em duas laterais. Com a utilização das pedras retiradas do mesmo local da construção, o terreno é cercado por muros de gravidade. Para que o projeto não tivesse um número significativo de pilares nos 2000 m2 e para que pudesse conseguir uma vista mais aberta no jardim inferior, foi utilizado grandes vigas vagão a cada dois módulos, medindo 11 m de comprimento cada e executada com aço cor-ten. O paisagismo e as vigas, destacam-se em um conjunto importante na obra. (FGMF, 2019).

Em outros 3 pavilhões com a mesma medida do módulo 5,5×5,5 m, mas com a estrutura em pedra, são construções pavilhonares, sendo de serviços, contendo garagens, casa de caseiro, depósitos, quartos de empregada, vestuários etc.

Para que as lajes fiquem suspensas foram utilizadas grandes empenas paralelas de pedra alocadas no solo. Através deste apoio as construções em madeira são leves e etéreas o que evidencia sua função adversa. (FGMF, 2019).




Figura 4. Casa Grelha
Fonte: FGMF

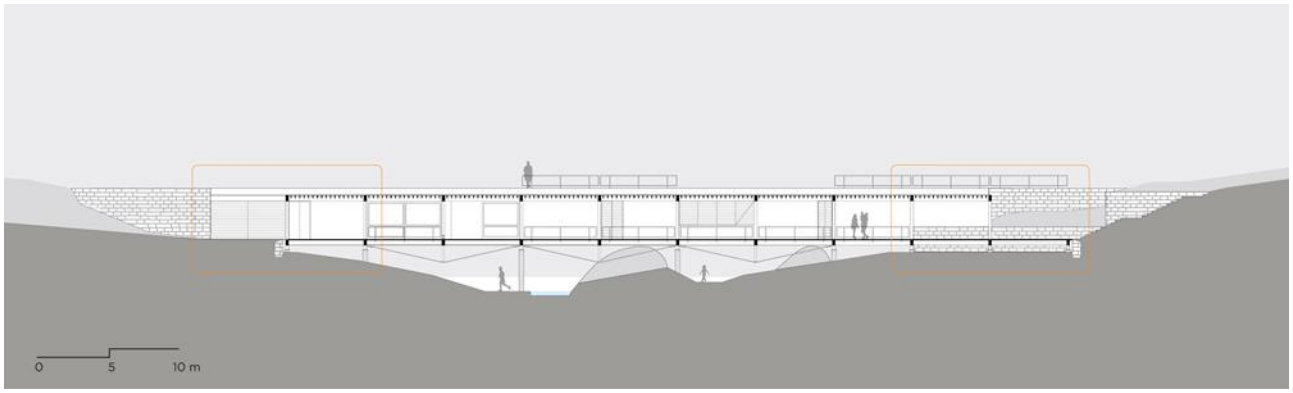



Figura 5. Casa Grelha
Fonte: FGMF

### 4.2 Análise 2: Casa Península / Bernardes Arquitetura

Os dados técnicos obtidos para a análise 2 - Casa Península, foram obtidos dos estudos de Bernardes Arquitetura no site da ArchDaily sendo os seguintes:

- Autores: Arquitetos Bernardes Arquitetura
- Arquitetos Bernardes Arquitetura
- Arquiteto Responsável Dante Furlan
- Localização: Brasil
- Área: 850.0 m2
- Ano do projeto: 2017

Conforme imagem da Figura 6 a casa península, uma residência situada em um terreno com declive acentuado, foi projetada para que tanto no seu entorno, quanto a topografia não sofressem graves alterações. A partir de análises, foi criada uma plataforma e sobre ela um tipo de terreno conforme a Figura 7, ali onde todos os pavimentos e ambientes se estruturariam.

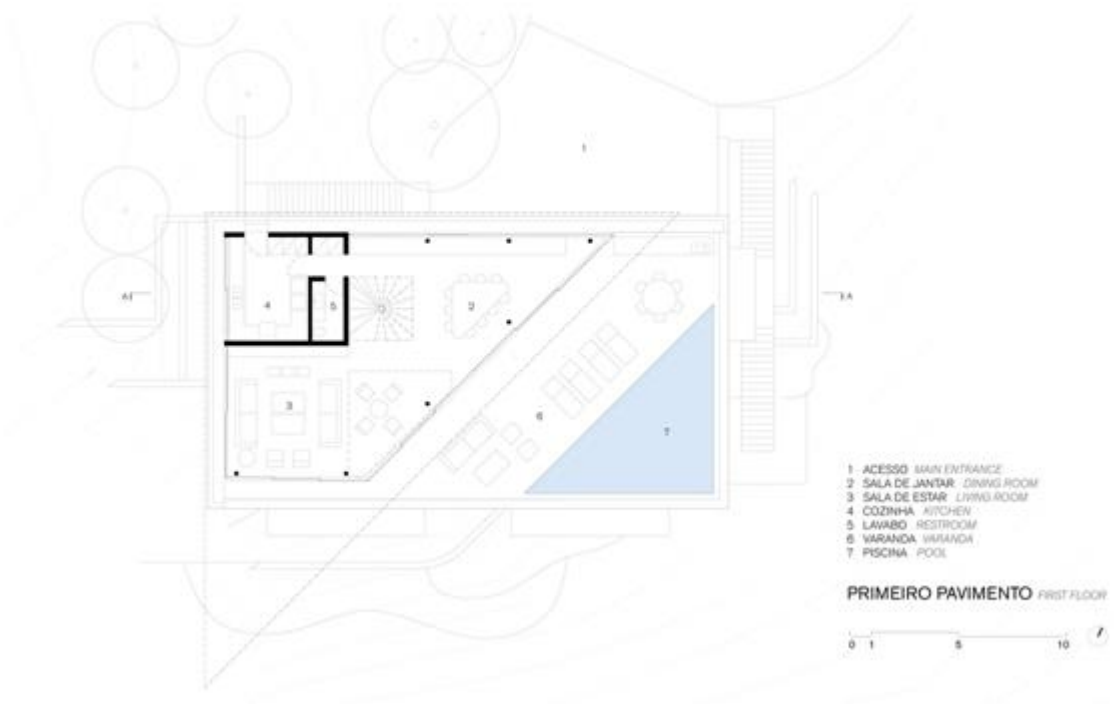



Figura 6. Casa Península
Fonte: ArchDaily

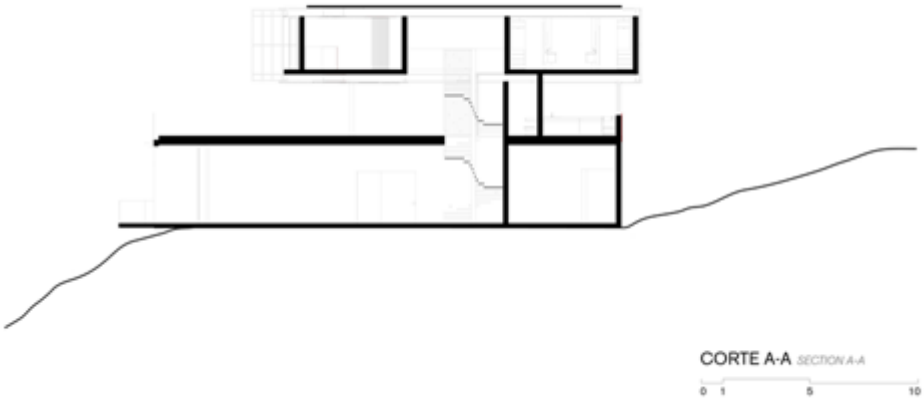



Figura 7. Casa Península
Fonte: ArchDaily

### 4.3 Análise 3: Residência Quintana da Baroneza

Os dados técnicos obtidos para a análise 3-Residência Quintana da Baroneza, foram obtidos dos estudos de Belluzo Martinhão Arquitetos presentes no site da Archdaily, sendo os seguintes:

- Autores: Belluzzo Martinhão Arquitetos

- Arquitetos Responsáveis: Gustavo Martinhão, Marcella Belluzzo Paisagista Marcelo Faisal Projeto Estrutural Tetric Engenharia – Engenheiro Rodrigo Sgambatti
- Localização: Bragança Paulista, Brasil
- Tipo de Construção: Residência
- Área: 995.0 m2
- Ano do projeto: 2016

Tentando impactar o mínimo possível na topografica natural do terreno conforme a Figura 8, a residência Quintana da Baroneza tem o terreno com a frente extensa, medindo 80 metros de comprimento e com mínimo declive que acompanha o nível da rua, conforme a Figura 9.

A alternativa foi criar um volume monolítico sobre o terreno citado, assim fazendo um ótimo proveito do declive que acompanha a rua, incluindo ambientes como garagens, spa e sauna.

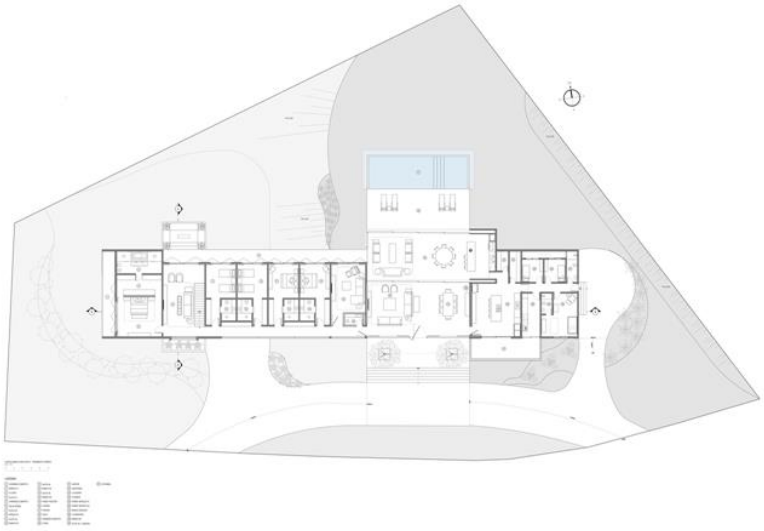


Figura 8. Casa Península
Fonte: ArchDaily

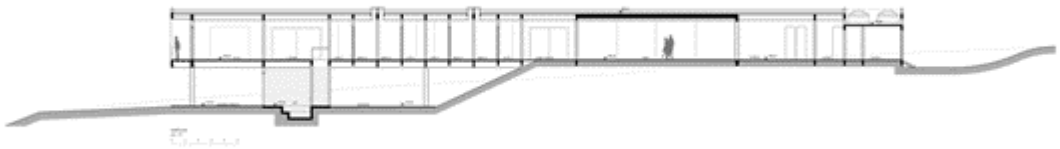


Figura 9. Casa Península
Fonte: ArchDaily

## 5. RESULTADOS DAS ANÁLISES E CONCLUSÕES

O estudo e análise destes desenhos, demonstrou claramente a possibilidade de se desenvolver projetos aliados e adequados a topografia do terreno, onde se observou que cada um buscou evitar ao máximo a alteração da topografia inicial, gerando soluções adequadas.

Ainda, demonstra que existem maneiras de projetar para cada terreno, independente de sua topografia ou habitat, agregando mais a própria natureza, além de materiais alternativos e diferentes, nas estruturas.

Conclui-se por fim, que dentro do contexto atual, onde a natureza clama por não ser mais desgastada abusadamente, o papel do profissional que constrói e edifica o novo, merece uma atenção especial privilegiando a busca de alternativas mais sustentáveis.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

DOMINGUES, Felipe A. A.. **Topografia e Astronomia de Posição para Engenheiros e Arquitetos**. MacGraw-Hill. São Paulo.1979.

**FGMF**-FORTE, Fernando; GIMENES,Lourenço; FERRAZ, Rodrigo M. - Casa Grelha São José dos Campos, SP. Disponível em : http://fgmf.com.br/portfolio-item/casa-grelha-2/ Acesso em 27 de Abril de 2019.

**FURLAN**, Dante. Archdaily - Casa Península / Bernardes Arquitetura. Matheus Pereira, publicado em Março de 2019. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/912406/casa-peninsula-bernardes-arquitetura. Acesso em 26 de Abril de 2019.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 9a Ed. Rio de Janeiro: Globo. 1987, 655p.

**MARTINHÃO**, Gustavo; BELLUZZO Marcella. Archdaily - Residência Quinta da Baroneza / Belluzzo Martinhão Arquitetos. Pedro Vada, publicado em Janeiro de 2019. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/908444/residencia-quinta-da-baroneza-belluzzo-martinhao-arquitetos. Acessado em 26 de Abril de 2019.

PRA CONSTRUIR. **Etapas da construção, preparação.** Escolha do terreno: a etapa mais importante da construção. Disponível em: http://blogpraconstruir.com.br/etapas-da-construcao/escolha-do-terreno/. Acesso em 24 de setembro de 2019.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO COMPARATIVO PARA VERIFICAR SE A REDUÇÃO DO FATOR ÁGUA/CIMENTO CONTRIBUIRÁ PARA A NÃO UTILIZAÇÃO DE IMPERMEABILIZANTE NO CONCRETO

**Rafael Fiorentin**
**Alessandro Emilio Valmorbida**
**URI Erechim, RS 331, Nº 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil, CEP 99700-000.**
**rafa_fiorentin@hotmail.com; alessandroev@uricer.edu.br**

**Resumo:** *O presente trabalho tem como objetivo avaliar a substituição de aditivo impermeabilizante em obras por diminuição da relação água/cimento, tornando o concreto impermeável. Desenvolveu-se um estudo experimental onde foi avaliada a resistência à compressão axial e a absorção de água por capilaridade com diferentes traços de concreto, sendo um como traço referencial, e outros dois compostos por um traço com aditivo impermeabilizante e um traço com redução do fator água/cimento. Constatou-se que o traço com redução do fator água/cimento obteve uma resistência superior aos outros traços, chegando a 68,53 MPa. Já a absorção de água por capilaridade foi 25% menor enquanto que a altura de ascensão máxima da água foi 50% menor. Com isso, conclui-se que o melhor desempenho é adquirido quando diminuímos a relação água/cimento.*

***Palavras chave:*** *Concreto impermeável, Aditivo impermeabilizante, Fator água/cimento.*

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem a finalidade de investigar se a redução do fator água/cimento contribuirá para a eliminação do uso do impermeabilizante no concreto antes da concretagem. Basicamente podemos tornar um concreto menos permeável quando reduzimos o número e tamanho dos poros.

Quando há muita água na mistura, o excesso de água migra para a superfície pelo processo de exsudação, deixando espaços vazios chamados de porosidade capilar, prejudicando a resistência, aumentando a permeabilidade e diminuindo a durabilidade da peça concretada.

Pensando nesse sentido pode-se reduzir o fator água/cimento do concreto para que desta forma possamos ter uma quantidade de água livre menor e consequentemente menor o tamanho e número de poros.

Sabendo que a percolação de água pelos poros do concreto ocasiona diversos problemas nas edificações, como o surgimento de manifestações patológicas, o presente trabalho pretende estudar a substituição de aditivos impermeabilizantes utilizados em obras por redução do fator água cimento do concreto, avaliando a resistência a compressão axial e a capilaridade do concreto.

Os procedimentos de execução dos ensaios de concreto seguiram uma padronização buscando simular o processo executado para obra.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram escolhidos considerando a facilidade de obtenção e por serem amplamente empregados nas construções da região, que são: areia natural fina, areia industrial, brita1, brita 0, cimento, pozolana, água, aditivo plastificante, aditivo superplastificante e aditivo impermealizante.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia da empresa Traçado Construções e Serviços LTDA, Erechim/RS.

Na figura 1, podemos observar o fluxograma da metodologia do trabalho.

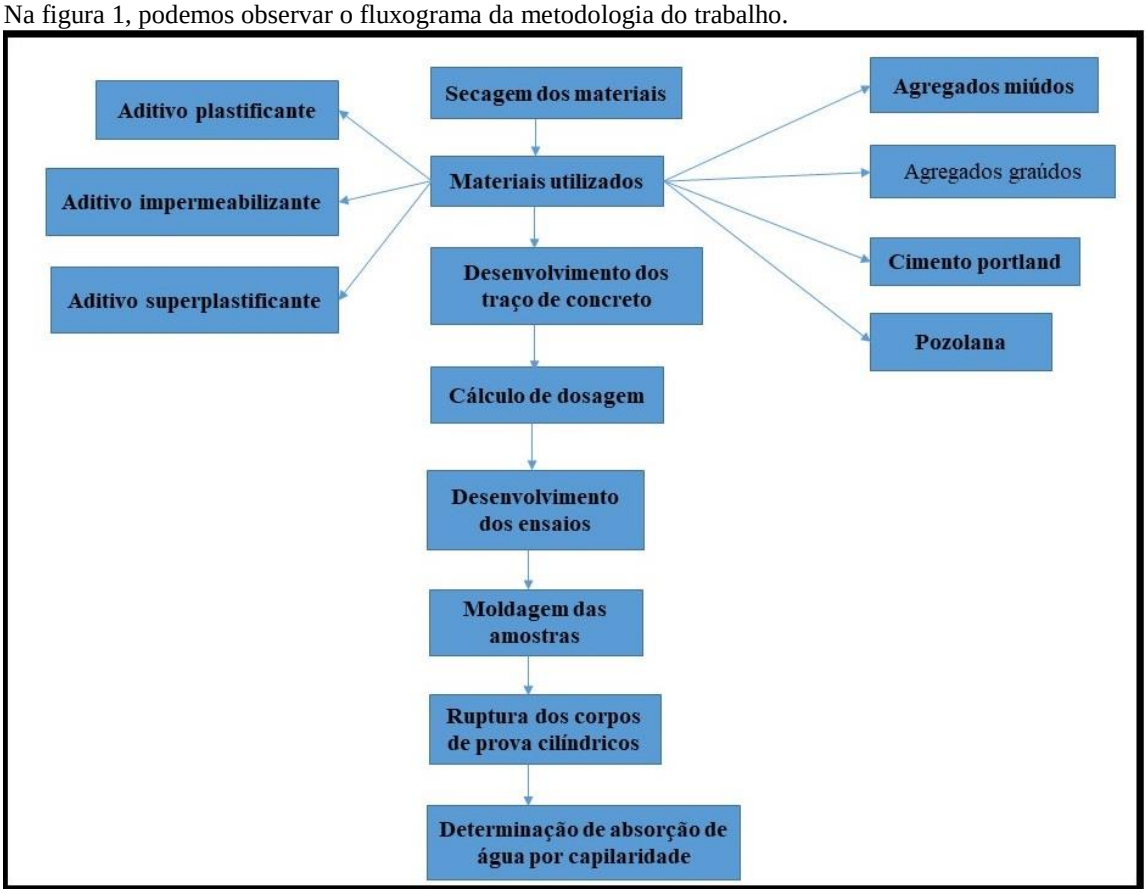



Figura 1. Fluxograma da metodologia

Primeiramente, foi realizado a coleta dos agregados que se encontram em baias devidamente separados para que não ocorra contaminação entre os mesmos. Todos agregados foram secados em estufa para retirada de toda a umidade presente. O processo de secagem foi realizado por meio de estufa, onde os agregados foram colocados a uma temperatura de 105° C por um período de 12 horas. A figura 4 mostra o processo de secagem na estufa. Com o material totalmente sem umidade e em temperatura ambiente, iniciou-se o processo de caracterização física dos mesmos conforme normas vigentes.

Para o desenvolvimento do traço utilizou-se o método ABCP, na proporção de 1:6, para obter um Fck de 30 MPa aos 28 dias. Uma vez que já tínhamos o conhecimento dos materiais que estávamos trabalhando, foi determinado o percentual de cada agregado. Esse percentual consistiu em 48% agregados miúdos e 52% agregados graúdos.

O percentual dos agregados miúdos foi definido em 20% de areia natural fina e 80% de areia industrial. Para os agregados graúdos foi determinado o uso de 25% de brita 0 e 75% de brita 1.

O percentual de aglomerante foi de 20% para pozolana e 80% de cimento.

Para o desenvolvimento da proporção dos materiais para 1 kg de cimento, utilizou-se os métodos de cálculos com base no método da ABCP, que seguem:

Areia natural fina = $6x \frac{48}{100} x \frac{20}{100}$ = 0,576 kg

Areia industrial = $6x \frac{48}{100} x \frac{80}{100}$ = 2,304 kg

Brita 0 = $6x \frac{52}{100} x \frac{25}{100}$ = 0,78 kg

Brita 1 = $6x \frac{52}{100} x \frac{75}{100}$ = 2,34 kg

Proporção

$$\frac{0,8}{\Upsilon\, cim.} : \frac{0,2}{\Upsilon poz.} : \frac{0,576}{\Upsilon ANF} : \frac{2,304}{\Upsilon AInd} : \frac{0,78}{\Upsilon brita0} : \frac{2,34}{\Upsilon brita1} : a/c$$

$$\frac{0,8}{3,06} : \frac{0,2}{2,99} : \frac{0,576}{2,69} : \frac{2,304}{2,92} : \frac{0,78}{2,91} : \frac{2,34}{2,93} : 0,56$$

A quantidade de cimento para 1 m³ de concreto foi definida por meio da fórmula a seguir:

Cimento = $\frac{1000}{2,956}$ = 338 kg/m³ sabendo que a composição será de 80% cimento e 20% de pozolana. Portanto:

Cimento = 338 x 0,8 = 270,4 kg/m³
Pozolana = 338 x 0,2 = 67,6 kg/m³

Sabendo a quantidade de cimento por metro cúbico, possibilita determinar a quantidade de cada material que irá compor o volume total do concreto. O primeiro ensaio foi desenvolvido com relação a/c 0,56, sendo então o ensaio usado como base para comparação dos resultados finais, este recebeu o nome de traço piloto. Todos os ensaios foram desenvolvidos para um abatimento (Slump test) de 120 ± 20 mm.

Optou-se em realizar três traços distintos de concretos. O primeiro ensaio (Ensaio 1) foi utilizado uma relação a/c de 0,56, normal de obra. Para o segundo ensaio (Ensaio 2) manteve-se a relação a/c, incluído apenas 1% de aditivo impermeabilizante sobre o peso de cimento conforme indicação do fabricante, com o objetivo de tornar o concreto impermeável. Ambos ensaios com abatimento de 140 mm. Para o terceiro ensaio (Ensaio 3) foi reduzido a relação a/c em 0,50.

Com essa redução, o slump test obtido foi de 15 mm, com isso foi acrescentado 0,8% de aditivo superplastificante para que o abatimento fosse também 140 mm, conforme figura 2 e 3.



Figura 2. Slump Test 140 mm



Figura 3. Slump Test 15 mm

Para cada ensaio realizado, foram moldados 11 corpos de prova cilíndricos com as dimensões de 10x20 cm a fim de verificar a resistência do concreto nas idades de 7, 28, 63, 90 e 120 dias, a figura 4 mostra os corpos de prova moldados.



Figura 4. Corpos de prova moldados

Também foi moldado uma barra prismática para cada ensaio realizado nas dimensões de 15x15x50 cm posteriormente foram cortados ao meio formando duas amostras cada ensaio, com a finalidade de determinar da absorção de água por capilaridade do concreto.

Após 24 horas, os ensaios foram desmoldados e armazenados em câmara úmida, para controle de umidade e temperatura até as respectivas datas de análises. As amostras foram moldadas seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 5738/2016.

A ruptura dos corpos de prova, foram realizadas conforme as datas estabelecidas de 07, 28, 63, 90 e 120 dias, a fim de comparação das resistências. O ensaio foi realizado conforma a norma ABNT NBR 5739/2018.

O ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade foi realizado conforme a norma ABNT NBR 9779/2012. A figura 8 mostra os corpos-de-prova prismáticos que foram utilizados para determinação da absorção de água por capilaridade.

Foi iniciado com a determinação da massa do corpo-de-prova ao ar, após secá-lo em estufa à temperatura de 105 ± 5°C, por um período de 48 horas com a finalidade de obter a constância da massa.

Posteriormente os corpos de prova permanecerem em temperatura ambiente de 23 ± 2°C. Marcou-se os corpos de prova em 5 ± 1 mm acima de sua face inferior para o posterior posicionamento no recipiente com água, de forma que o nível de água não ultrapassa-se a marcação.

Durante o ensaio, foi determinado a massa dos corpos-de-prova com 3, 6, 24, 48 e 72 horas, contadas a partir da colocação destes em contato com a água. Na figura 4, pode-se verificar os corpos de prova imersos em água.

Após a última etapa, os corpos-de-prova foram rompidos por compressão diametral, conforme a norma ABNT NBR 7222/2011, de modo a permitir a anotação da distribuição da água no seu interior. A absorção de água por capilaridade foi calculada por meio da fórmula a seguir:

$$C = \frac{A-B}{S}$$ Onde:

C = absorção de água por capilaridade.
A = massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado.
B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de 23 ± 2°C.
S = área da seção transversal.
Na figura 5, podemos observar os corpos de prova prismáticos moldados.

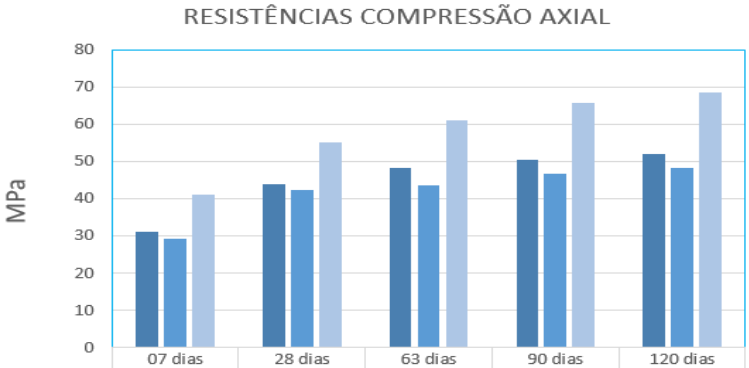


Figura 5. Corpos de prova prismáticos imersos em água

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ideia inicial era realizar o terceiro ensaio com um fator água/cimento 0,40, porém no decorrer do ensaio, o concreto permaneceu de forma "farofa", necessitando um acréscimo de água, consequentemente elevando a relação água/cimento para 0,50. Com esse aumento de água o abatimento obtido foi de 15 mm tornando possível o acréscimo do aditivo superplastificante.

Em análise, por meio do ensaio de compressão axial, avaliou-se a resistência do concreto nas idades de 07, 28, 63, 90 e 120 dias. Como podemos analisar na figura 6, aos 28 dias obtivemos uma resistência acima da esperada que era de 30 MPa, onde o traço com redução do fator a/c obteve a maior resistência, chegando a 55,25 MPa, um resultado positivamente significativo.




| | 07 dias | 28 dias | 63 dias | 90 dias | 120 dias |
|---|---|---|---|---|---|
| Resistências Ensaio 1 - Traço piloto | 31,21 | 43,95 | 48,28 | 50,37 | 52,16 |
| Resistências Ensaio 2 - Impermeabilizante | 29,16 | 42,38 | 43,67 | 46,78 | 48,27 |
| Resistências Ensaio 3 - Redução fator a/c | 41,09 | 55,25 | 61,15 | 65,67 | 68,53 |

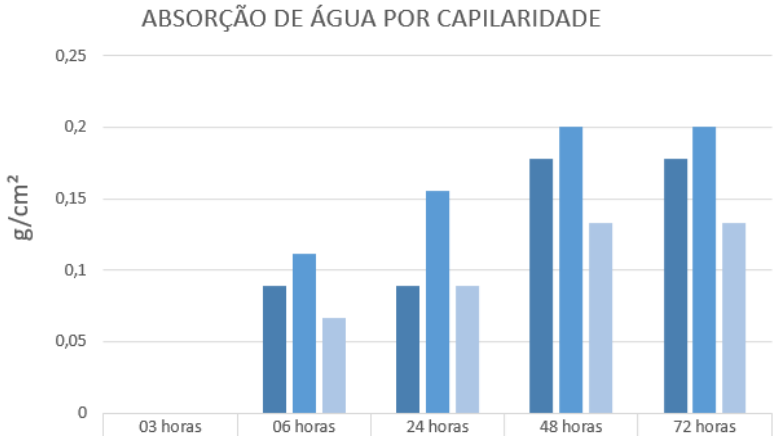
Figura 6. Resultado resistências compressão axial

Observou-se que o traço com redução do fator a/c foi o que atingiu maiores resistência a compressão axial em todas as idades, chegando a 68,53 MPa aos 120 dias, demonstrando um melhor desempenho. Enquanto que o traço com impermeabilizante teve um resultado semelhante ao traço piloto, comprovando desta forma que a relação a/c está diretamente relacionada com a resistência do concreto. Na figura 7, observa-se a resistência dos corpos de prova aos 7 dias.



Fugura 7. Ruptura dos corpos de prova aos 7 dias

Em análise, por meio do ensaio de absorção de água por capilaridade, avaliou-se a eficiência de cada ensaio para tornar o concreto mais impermeável. Podemos observar na figura 8, os resultados de absorção de água por capilaridade, enquanto que a tabela 1 apresenta a altura da ascensão capilar máxima interna obtidos com o estudo.




| | 03 horas | 06 horas | 24 horas | 48 horas | 72 horas |
|---|---|---|---|---|---|
| Ensaio 1 - Traço piloto | 0 | 0,089 | 0,089 | 0,178 | 0,178 |
| Ensaio 2 - Impermeabilizante | 0 | 0,111 | 0,156 | 0,200 | 0,200 |
| Ensaio 3 - Redução fator a/c | 0 | 0,067 | 0,089 | 0,133 | 0,133 |

Figura 8. Resultado absorção de água por capilaridade

Conforme a figura 8, observa-se que o traço com redução do fator a/c obteve uma menor absorção de água sendo 25% menor do que o ensaio piloto após 72 horas. Já na tabela 14 houve um resultado mais expressivo, onde a mesma mostra que a altura de ascensão máxima no ensaio com redução do fator a/c foi praticamente a metade, demonstrando um desempenho satisfatório. Já o ensaio com uso de impermeabilizante não houve nenhuma melhoria, demonstrando que o impermeabilizante é ineficaz para a impermeabilização do concreto. Na figura 9, observa-se a altura de ascensão máxima em cada um dos ensaios realizados.

Tabela 1. Resultado altura da ascensão capilar máxima interna

| | **Ensaio 1 Traço piloto** | **Ensaio 2 Impermeabilizante** | **Ensaio 3 Redução fator a/c** |
|---|---|---|---|
| **Altura em cm** | 3,5 | 4,0 | 2,0 |




Figura 9. Altura da ascensão capilar máxima interna

## 4. CONCLUSÕES

Ao comparar os resultados de compressão axial, concluiu-se que o traço com redução do fator a/c obteve o melhor desempenho, atingindo consequentemente a maior resistência de 68,53 MPa.

Ao comparar os resultados de absorção de água por capilaridade, observou-se que o traço com redução do fator a/c da mesma forma que a compressão axial, teve um resultado de melhor desempenho, absorvendo em torno de 25% de água a menos do que os outros ensaios. Já a altura de ascensão máxima interna foi praticamente 50% menor.

Por fim, infere-se com este estudo, que a utilização de aditivos impermeabilizantes se demostrou ineficiente quanto a impermeabilização do concreto, sendo mais eficiente a pratica de redução do fator água/cimento.

Desta forma, conclui-se que, é possível tornar um concreto impermeável apenas reduzindo o fator a/c, tornando-o mais resistente e garantindo obras mais duradouras com menor índice de problemas patológicos.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

____. NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

____. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

____. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2009.

____. NBR NM 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2016.

____. NBR NM 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

____. NBR NM 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

____. NBR NM 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

____. NBR NM 9575: Impermeabilização – Seleção e Projeto. Rio de Janeiro, 2010.

____. NBR NM 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
____. NBR NM 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# INFLUÊNCIA DO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR) COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET) SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS

**Beatriz Schimelfenig**
**Milena Fabiani Pinto**
**Mariana Vargas**
**Diniane Baruffi**
**Cristina Vitorino Da Silva**
Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões Endereço da instituição
biaschimel@hotmail.com; milenafabiani@outlook.com; marianazv03@gmail.com; dinianebaruffi@uricer.edu.br; cristina@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Com o intuito de reduzir a capacidade de fissuração do concreto de alta resistência (CAR) de fck= 55 MPa quando submetido a altas temperaturas, esta pesquisa contempla o uso de fibras de Politereftalato de Etileno (PET) na matriz do concreto, pois as mesmas agem diretamente na distribuição dos esforços que atuam na peça no âmbito da microestrutura. Para tanto foram realizados ensaios de resistência à compressão, módulo de deformação, perda de massa e análise da coloração, em corpos de prova (10 por 20 cm) submetidos a diferentes temperaturas (23, 400 e 800 ºC) e tempos de exposição (0, 30 e 60 min), sem e com adição (teor fixo de 0,5 %) de fibras de PET. Os resultados apontaram que a adição decresce o valor da resistência à compressão e do módulo de deformação do concreto a medida que ocorre acréscimo da temperatura e do tempo de exposição. Por outro lado, a adição eliminou os danos apresentados pelos CP's de referência (sem fibra) nos corpos-de-prova sujeitos a 400 ºC e minimizou os efeitos dos CP's sujeitos a 800 ºC, indicando que o derretimento do PET aumentou a porosidade do material e minimizou os danos causados pela poropressão, sendo uma alternativa eficiente para redução do efeito spalling, além de contribuir para o reaproveitamento de resíduos por meio da redução do descarte inadequado deste material que ocasionaria impactos ambientais.*

**Palavras chave:** *Concreto de alta resistência. Fibras de Politereftalato de Etileno (PET). Efeito spalling.*

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto vem sendo largamente utilizado como material de construção, devido ao fato de apresentar excelente resistência à água, poder ser moldado numa variedade de formas e tamanhos, ser mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obras do que outros materiais de construção. Para ilustrar tal afirmativa, Mehta e Monteiro (2008) estimam que o consumo mundial de concreto chega a ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil, sob as mais diversas condições ambientais previstas na época do projeto. No entanto, uma estrutura de concreto é altamente heterogênea e complexa, tornando dificultosa a estimativa de seu comportamento frente a algumas ações.

A utilização do concreto enquanto material estrutural deve-se a suas propriedades mecânicas, principalmente pela resistência à compressão, parâmetro que serve de referência para sua classificação. De acordo com a Norma Brasileira NBR 8953 (ABNT, 2015), a Classe I, compreende concretos de até 50 MPa e Classe II, concretos com resistências maiores que 50 MPa, podendo ser este valor considerado o limite entre concreto convencional e de alta resistência no Brasil.

As dosagens do Concreto de Alta Resistência (CAR) são geralmente caracterizadas por baixas relações água/aglomerante, altos consumos de cimento, e a presença de vários aditivos, tais como redutores de água (plastificantes e superplastificantes), retardadores de pega, e adições como a sílica ativa. Segundo Gonçalves et al. (2015), por ser um material que demanda alto controle tecnológico, torna-se mais caro e, quando comparado a um concreto convencional, o custo inicial do m³ do concreto acresce em cerca de 30 a 40 %.

A deficiência dos concretos de alta resistência, sob o ponto de vista do incêndio, é uma motivação para estudos e descobertas de novas adições que minimizem ou neutralizem essas imperfeições do material. Figueiredo (2005) expôs em seu estudo que a adição de fibras em uma matriz cimentícia pode ocasionar pelo menos dois efeitos importantes nesse sentido. O primeiro relaciona-se com o reforço do compósito sobre os carregamentos de tração, sejam de tração

indireta, flexão ou cisalhamento e, secundariamente, as fibras atuam no sentido de melhorar a ductilidade e tenacidade de uma matriz com características frágeis.

Em estudos, Pizzoni (2017) constatou que a utilização de macrofibras de polietileno evitou o efeito spalling em CAR aquecidos, apresentando a maior eficácia para o teor de 1 % de adição. Contudo, seu trabalho constatou perdas de resistência e módulo de elasticidade, sendo menores para a temperatura de 400°C, porém para temperaturas de 800°C as perdas mostraram-se bastante significativas, chegando a 51 % e 92 % respectivamente.

A escolha da fibra de PET como elemento de reforço da matriz do concreto, com a possibilidade de melhorar as propriedades da mesma, torna-se bastante atraente, além de tratar-se de um material reciclável, de baixo custo e abundante no meio. Assim, alia-se o benefício ambiental a uma melhoria de um material importantíssimo nas obras de construção civil.

Neste contexto, o objetivo principal da pesquisa consiste em avaliar o comportamento do CAR submetido a altas temperaturas, em diferentes períodos de exposição, além de analisar a influência da adição da fibra de Politereftalato de Etileno (PET) na matriz do concreto em relação ao controle da fissuração e desplacamento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 1 apresenta o programa experimental desenvolvido nesse estudo.

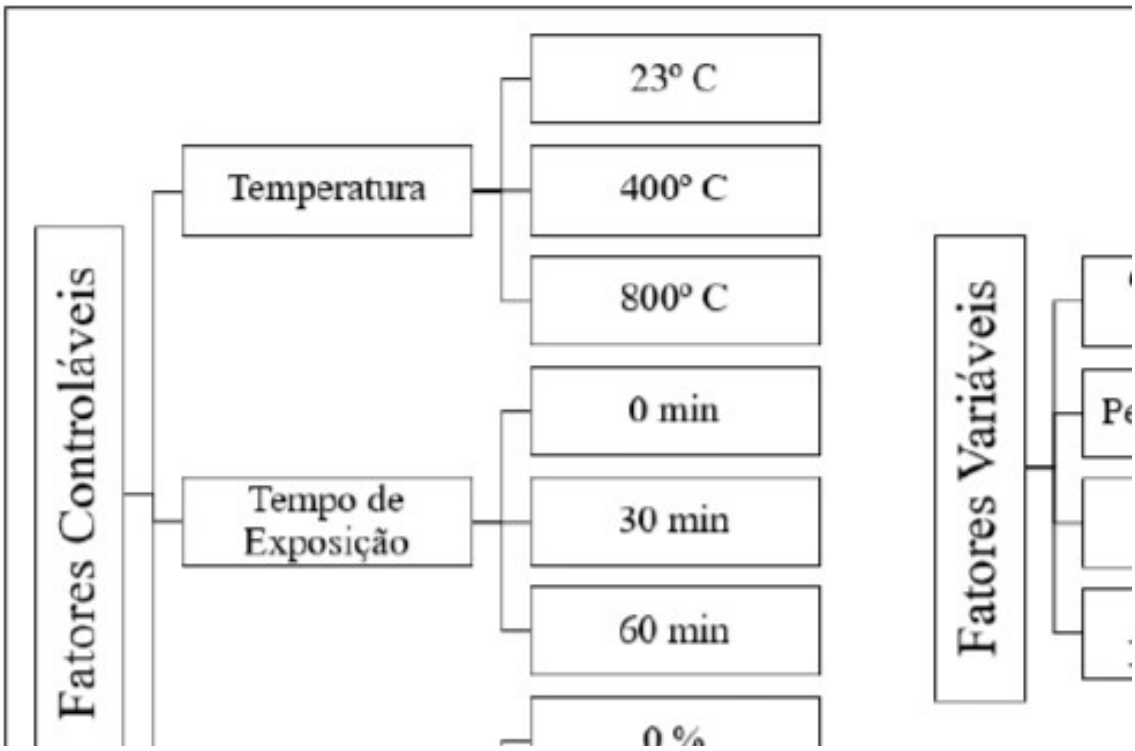



Figura 1. Programa experimental (Autora (2019)).

### 2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Cimento

Nessa pesquisa foi empregado o cimento Portland CPV-ARI; para caracterizá-lo, foram utilizados dados do fabricante quanto às características químicas e mecânicas, além da realização de ensaios no Laboratório de Preparação de Amostras e Técnicas Construtivas (LAPATEC) da URI Campus de Erechim/RS, para a determinação da massa específica e do índice de finura por meio da peneira #200, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do cimento CPV-ARI.

| **Características avaliadas** | | **CP V - ARI** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Fabricante** | **Laboratório URI** | **Exigência da NBR 5733** |
| Massa específica (g/cm³) | | 3,09 | 3,04 | - |
| Expansão a quente (mm) | | 0,00 | - | ≤ 5,0 |
| Tempo de pega (h: min.) | Início | 03:15 | - | ≥ 1:00 |
| | Fim | 04:00 | - | ≤ 10:00 |
| Consistência normal (%) | | 30,10 | - | - |
| Finura Blaine (cm²/g) | | 5 | - | ≥ 3000 |
| Resíduo peneira #200µm (%) | | 0,20 | 1,91 | ≤ 6,0 |
| Resíduo peneira #325µm (%) | | 1,30 | - | - |

2.1.2 Agregado miúdo

Como agregado miúdo foi utilizado a areia natural. Os ensaios de caracterização foram realizados no LAPATEC da URI – Campus de Erechim, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do agregado miúdo.

| **Abertura das Peneiras (mm)** | **Média Retida (%)** | **Média Retida Acumulada (%)** |
|---|---|---|
| 6,3* | 0,00 | 0,00 |
| 4,75 | 0,72 | 0,72 |
| 2,36 | 8,61 | 9,33 |
| 1,18 | 20,84 | 30,17 |
| 0,6 | 15,85 | 46,02 |
| 0,3 | 19,27 | 65,29 |
| 0,15 | 23,20 | 88,49 |
| Fundo* | 11,00 | 99,49 |
| Módulo de Finura | | 2,40 |
| Dimensão Máxima Característica (mm) | | 4,75 |
| Absorção da água (%) | | 0,60 |
| Massa Específica (g/cm³) | | 2,50 |
| Massa Unitária (g/cm³) | | 1,55 |

2.1.3 Agregado graúdo

Para esse estudo foi utilizado agregado graúdo (brita 1) de origem basáltica, sendo caracterizado quanto suas propriedades físicas conforme tabela 3. Os ensaios de caracterização foram realizados no LAPATEC da URI – Campus de Erechim.

Tabela 3 – Caracterização do agregado graúdo.

| **Abertura das Peneiras (mm)** | **Média Retida (%)** | **Média Retida Acumulada (%)** |
|---|---|---|
| 25* | 0,00 | 0,00 |
| 19 | 8,08 | 8,08 |
| 12,5* | 63,74 | 71,82 |
| 9,5 | 14,69 | 86,51 |
| 6,3* | 11,23 | 97,74 |
| 4,75 | 1,89 | 99,63 |
| 2,36 | 0,37 | 100,00 |
| 1,18 | 0,00 | 100,00 |
| 0,6 | 0,00 | 100,00 |
| 0,3 | 0,00 | 100,00 |
| 0,15 | 0,00 | 100,00 |
| Fundo* | 0,00 | 100,00 |
| Módulo de Finura | | 6,94 |
| Dimensão Máxima Característica (mm) | | 25,00 |
| Massa Específica (g/cm³) | | 2,84 |
| Massa Unitária (g/cm³) | | 1,64 |
| Absorção de Água (%) | | 1,43 |

2.1.4 Sílica Ativa e Aditivo Superplastificante

A sílica ativa é uma das substâncias químicas mais importantes quando pretende-se deixar o concreto durável e resistente, isso deve-se ao fato de que a sílica exerce um efeito físico (microfíler) e um efeito químico (pozolânico) durante o processo de hidratação do cimento, formando uma microestrutura mais densa, uniforme e homogênea. Em suma, as finas partículas de sílica preenchem os vazios entre as partículas maiores de cimento e também reduzem a exsudação. A massa específica (ρ) da sílica ativa utilizada no presente trabalho é de 2,22 g/cm³.

O aditivo químico utilizado neste trabalho foi um superplastificante líquido, isento de cloretos, constituído por uma solução de policarboxilatos em meio aquoso, conforme detalhado pelo fabricante. Sua densidade equivale a 1,1 g/cm³.

2.1.5 Fibra de PET

As fibras de PET utilizadas são provenientes do processo artesanal de reciclagem de garrafas de refrigerante que inicia-se com o desfiamento do corpo da garrafa numa máquina artesanal, sucedida pelo armazenamento em rolos. As dimensões da fibra de PET empregadas no desenvolvimento do trabalho são de aproximadamente 2 mm de espessura e 15 mm de comprimento, conforme pode ser observado na figura 2; a massa específica (ρ) do material é de 1,38 g/cm³.




(a) (b)

Figura 2. (a) Fibra PET, (b) Comprimento da fibra de PET (Autora (2019)).

### 2.2 Dosagem experimental

O método de dosagem utilizado para esta pesquisa foi a do IPT/EPUSP modificado, desenvolvido para concretos de alta resistência, sendo especificado um abatimento de tronco de cone de 130 ± 20 mm e resistência à compressão aos 28 dias da ordem de 55 MPa. Os resultados obtidos na dosagem são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Dosagem experimental.

| Traço | α | Traço unitário | | | | a/c | Abatimento (mm) | Aditivo (%) | Consumo de cimento (Kg/m³) | H (%) | Resistência Fcj (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | c | a | p | sa | | | | | | |
| 1:2 | 0,50 | 0,9 | 0,50 | 1,50 | 0,10 | 0,20 | 150 | 1,28 | 790,972 | 0,065 | 68,70 |
| 1:3,5 | | 0,9 | 1,25 | 2,25 | 0,10 | 0,29 | 130 | 0,86 | 519,251 | 0,065 | 63,90 |
| 1:5 | | 0,9 | 2,00 | 3,00 | 0,10 | 0,39 | 150 | 0,79 | 386,483 | 0,065 | 65,26 |

### 2.3 Ensaios

2.3.1 Ensaio de resistência à compressão uniaxial

A avaliação da resistência à compressão dos corpos de prova, após serem aquecidos a diferentes níveis de temperaturas e tempos de exposição, foi realizada de acordo com as orientações da NBR 5739 (ABNT, 2007). Para a ruptura foi utilizada a prensa disponível no LAPATEC, da marca EMIC – modelo PC200CS, com capacidade de 2.000 KN e velocidade de carregamento de 0,45 MPa/s.

2.3.2 Ensaio do módulo de deformação

O módulo de elasticidade estático ou módulo de deformação elástica é definido como o coeficiente angular da curva tensão versus deformação do concreto no regime elástico. Essa propriedade é estudada com o objetivo de se compreender a relação entre os esforços aplicados e as deformações originadas nos elementos estruturais, com o intuito de evitar a formação de fissuras o que provocaria uma menor durabilidade das estruturas de concreto. A avaliação do módulo de deformação dos corpos de prova, após serem aquecidos a diferentes níveis de temperaturas e tempos de exposição, foi realizada de acordo com as orientações da NBR 8522 (ABNT, 2008), utilizando a mesma prensa citada anteriormente no item 2.3.1, incorporando-se a ela um extensômetro eletrônico de medição de pequenas deformações.

2.3.3 Análise de coloração

A análise da coloração consiste em fazer uma inspeção visual dos corpos de prova. De um modo geral, a alteração na cor deve-se à presença de componentes ferrosos e pode ser utilizada como um parâmetro que indica a máxima temperatura atingida e a duração do aquecimento. No entanto, a análise deve ser feita com cautela visto que a extensão das alterações colorimétricas dependerá também do tipo de agregado utilizado. De acordo com a bibliografia, os efeitos descritos tendem a serem mais ressaltantes para agregados ricos em sílica, e menos relevantes para agregados calcários (LIMA, 2005).

2.3.4 Perda de massa

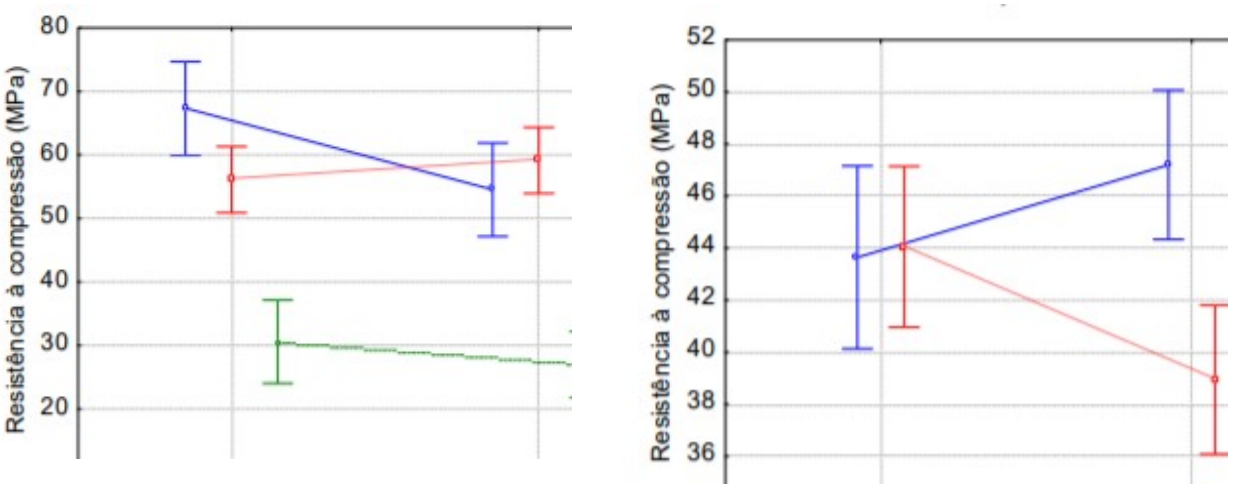
A perda de massa foi quantificada através da pesagem dos corpos de prova antes e depois do aquecimento, uma vez que a massa específica do concreto varia sensivelmente durante o aumento de temperatura, devido à evaporação da água livre e do aumento do volume dos agregados causado pela expansão térmica (SOUZA e RIPPER, 1998).

## 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Todos os resultados obtidos nos ensaios foram tratados estatisticamente visando a eliminação dos dados espúrios, prosseguido de análises pelo método de variância (ANOVA), através do software Statistica 7.0, seguida do teste Post Hoc de Fisher.

3.1 Resistência à compressão uniaxial

O efeito combinado do teor de adição e da temperatura e teor de adição e do tempo de exposição exercem significância sobre a resistência à compressão, conforme figura 3.




(a) (b)

Figura 3. Resistência a compressão (a) Efeito combinado do teor de adição e temperatura (b) Efeito combinado do teor de adição e tempo de exposição (Autora (2019)).

Realizando o teste de Post Hoc de Fisher para a resistência à compressão, constata-se que apenas na temperatura ambiente (23 º C) a adição de 0,5 % de fibra é significante nas propriedades do concreto, responsabilizando-se pela perda de 13 % de sua resistência inicial conforme exposto na figura 3 (a). Para as temperaturas de 400 º C e 800 º C, conforme a figura 3 (a) e segundo o teste de Fisher, o efeito causado pela adição na resistência à compressão, passou a ser insignificante estatisticamente, comprovando que a temperatura exerce uma influência maior que o teor de adição na perda das propriedades mecânicas do concreto. No estágio dos 800°C a fibra de PET já derreteu por completo e forma vazios maiores, se comparados à temperatura de 400°C, onde a fibra não havia atingido seu ponto de fusão, como apresentado por Lima (2005).

No que se refere a resistência à compressão, quanto ao tempo de exposição, e de acordo com o teste de Post Hoc de Fisher, não há diferença estatisticamente significativa entre os tempos de 30 minutos e 60 minutos, para as amostras sem teor de adição de fibras. No entanto, quando se acresce 0,5 % de fibra de PET a mistura, durante os 30 primeiros minutos de aquecimento se tem um leve acréscimo de resistência que se justifica, pois possivelmente houve uma menor quantidade de fissuras gerada na matriz, ou seja, as fibras proporcionaram melhor dissipação de tensão, e ao manter o tempo de exposição por 60 minutos, a matriz torna-se mais frágil, decaindo cerca de 17 % sua resistência.

3.2 Módulo de deformação

A figura 4 demonstra o efeito combinado do teor de adição, da temperatura e do tempo de exposição para o módulo de elasticidade do concreto.

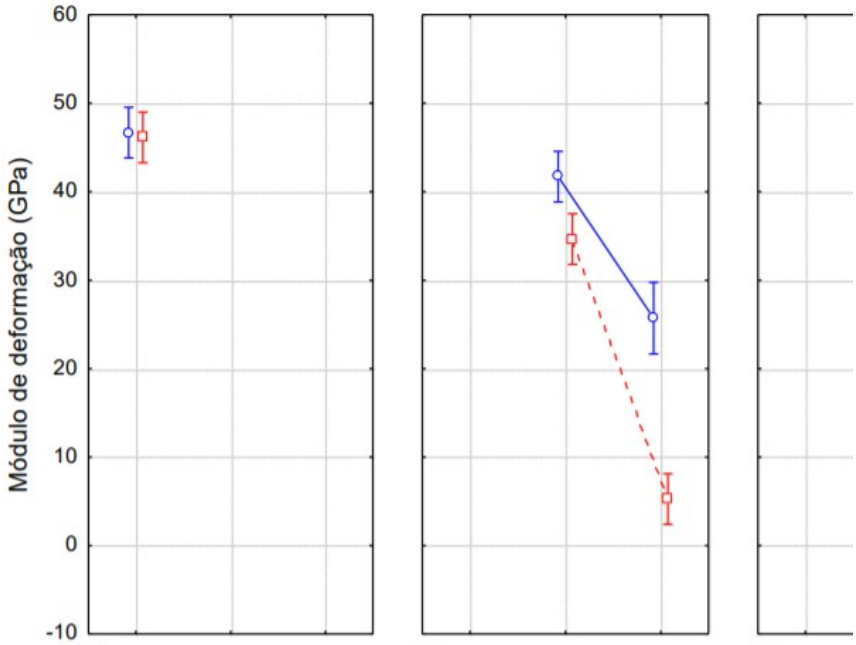



Figura 4. Efeito combinado da temperatura e tempo de exposição sobre o módulo de deformação (Autora (2019)).

Analisando a Figura 4, verifica-se que os CP's que não foram submetidos a exposição à altas temperaturas, sejam eles com ou sem teor de adição, apresentam uma variação insignificante no módulo de acordo com o teste Post Hoc de Fisher. No entanto, aos 30 minutos de exposição, à medida que se passa a incrementar a temperatura como se observa aos 400 ºC, o módulo fica mais prejudicado quando se tem adição de 0,5 % de fibras, em função da porosidade gerada na matriz, que é muito maior do que nos corpos de prova sem fibras. Aos 60 minutos de exposição, ainda de acordo com o teste Post Hoc de Fisher, o porcentual de adição já é considerado insignificante para determinação do módulo, comprovando-se a teoria de que a combinação de altas taxas de aquecimento, como em caso de um incêndio sob um longo tempo de exposição, podem de fato levar ao comprometimento das estruturas, conforme exposto por Lorenzon (2014).

3.3 Análise da coloração

A mudança de cor observada nos corpos de prova de concreto expostos à altas temperaturas é permanente e portanto, torna-se uma importante ferramenta para avaliação inicial do nível de deterioração sofrida pela matriz.

As figuras 5 e 6 ilustram a alteração sofrida na coloração dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 400 ºC e 800 ºC, considerando uma matriz sem adição de fibras de PET e com adição de 0,5 %.




Figura 5 – Coloração dos CP's sem teor de adição (Autora (2019)).

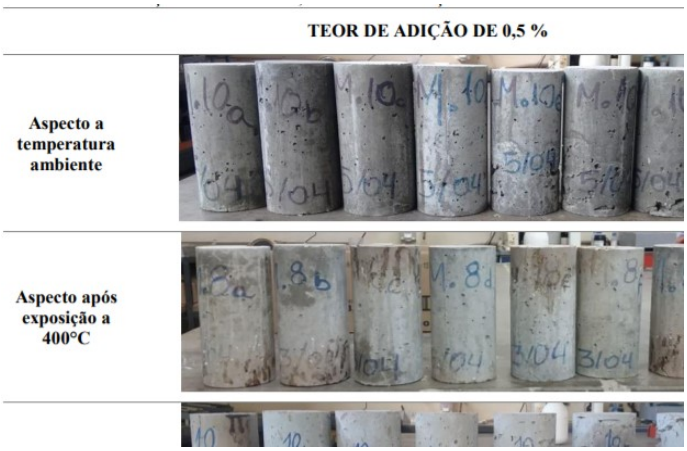



Figura 6 – Coloração dos CP's com 0,5 % de teor de adição (Autora (2019)).

De acordo com a literatura, as mudanças de coloração dos agregados utilizados no concreto é que ocasionam às alterações de cor do corpo de prova, ou seja, quando os agregados mudam de cor o concreto também muda. O fato já foi descrito por diversos autores, tais como Cánovas (1988), Lorenzon (2014), Wendt (2006), entre outros. Para o concreto sem adição de fibra de PET, a sequência de cores observada foi a seguinte: cinza à temperatura ambiente, passando a tornar-se rosa/avermelhada ao ser aquecida a 400 ºC e volta a ser cinza com pontos avermelhados ao atingir 800 ºC, concordando com os apontamentos apresentados no item 2.2.3.1 feitos por Lorenzon (2014).

Os corpos de prova com teor de adição de 0,5 % de fibra de PET, apresentavam na temperatura ambiente a coloração cinza, aos 400 ºC adquiriram uma leve coloração rosa/ avermelhada que se concentrava, principalmente, na região inferior dos CP's, associada ao surgimento de escorrimentos escuros causados pelo derretimento da fibra. Por fim, ao atingirem os 800 ºC, assumiram uma coloração cinza clara na parte superior, e na parte inferior evidenciaram-se ainda mais os manchamentos devido ao escorrimento da fibra.

As diferenças colorimétricas apontadas por Lorenzon (2014) e Wendt (2006) nas temperaturas de 400 ºC e 800 ºC puderam ser verificadas e ocorreram de forma mais evidente nos corpos de prova sem adição de fibras. Desta forma, conclui-se que através da comparação colorimétrica com um concreto não exposto é possível indicar o nível de temperatura a qual uma matriz foi submetida, especialmente para os casos que envolvem elevadas temperaturas de exposição e, consequentemente, maiores níveis de degradação.

3.4 Perda de massa

A figura 7, indica a perda de massa em porcentagem dos corpos de prova, considerando o teor de adição de fibra (0 e 0,5 %) e a temperatura de exposição (400 ºC e 800º C).

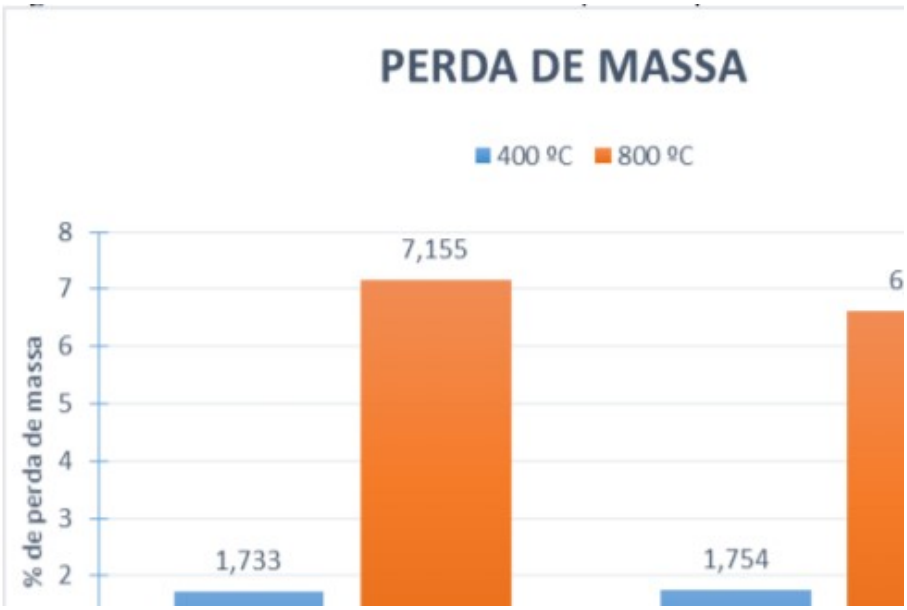



Figura 7 - Perda de massa entre teores de adição e temperaturas ensaiados (Autora (2019)).

A partir da análise da figura 7, é possível constatar que a perda de massa ocorre de forma mais significativa quando os corpos de prova estão submetidos a temperaturas mais elevadas, de modo que a perda de massa do concreto durante o aquecimento resulta em acréscimo na porosidade. De acordo com o exposto por Lima (2005), o efeito pode ser associado com mudanças de fase ou transformações químicas que ocorrem na matriz.

O fenômeno de spalling ocorreu somente em matrizes sem adição de fibra de PET, quando expostos à temperaturas acima dos 550 ºC, sendo que na faixa dos 700 ºC é que ocorreram os desplacamentos mais consideráveis, com grande perda de seção, e lascamento explosivo nos primeiros trinta minutos de aquecimento.

Por outro lado, conforme mostra a figura 8, os concretos com adição de 0,5 % de fibra de PET à temperatura de 800 º C, não apresentaram efeito spalling. Apenas se observou a formação de pequenas fissuras superficiais nos corpos de prova, fato que provavelmente está associado a formação de tensão interna, devido a expansão térmica dos agregados.




(a) (b)

Figura 8 - CP's expostos a temperatura de 800 º C (a) Sem adição (b) Com adição de 0,5 % (Autora (2019)).

## 4. CONCLUSÃO

Com o objetivo de analisar o comportamento do Concreto de Alta Resistência (CAR) submetido a altas temperaturas, o presente trabalho buscou avaliar se a associação de fibras de politereftalato de etileno (PET) apresentaria desempenho satisfatório nos ensaios realizados em laboratório e seria uma alternativa viável para o mercado da construção civil no que diz respeito a minimização dos efeitos de lascamento explosivo, ou spalling do concreto. Os resultados obtidos nos ensaios passaram por tratamento estatístico dos dados, por meios dos quais foi possível apresentar as conclusões descritas a seguir. A análise revelou que a adição de 0,5 % de fibra de PET provocou perda de resistência à compressão e reduziu o módulo de deformação do concreto, decrescendo ainda mais seus valores em função do acréscimo da temperatura e do tempo de exposição. Esse fato se explica pois a medida que o CP submete-se ao aquecimento, a poro-pressão é aumentada gerando microfissuras no concreto, que interferem diretamente nas propriedades mecânicas. Por outro lado, a adição eliminou os danos apresentados pelos CP's de referência (sem fibra) nos corpos de prova sujeitos a 400 ºC e minimizou os efeitos dos CP's sujeitos a 800 ºC, indicando que o derretimento da fibra aumentou a porosidade do material e reduziu os danos causados pela poro-pressão, sendo uma alternativa eficiente para eliminação do fenômeno spalling, além de contribuir para o reaproveitamento de resíduos por meio da redução do descarte inadequado deste material que ocasionaria impactos ambientais. No que refere-se a análise da perda de massa dos CP's, a temperatura também foi um fator determinante, ocorrendo sempre as maiores perdas na faixa dos 800 °C. No entanto, reduziu-se essa perda com a incorporação de 0,5 % de fibra de PET, comprovando-se mais uma vez a eficácia da adição no controle do efeito spalling do concreto. A partir das mudanças colorimétricas geradas nos CP's, foi possível averiguar que as mudanças de coloração relacionam-se com as temperaturas de exposição e, também, às perdas de propriedades do concreto, sendo essa uma ferramenta de grande importância para a avaliação inicial da deterioração sofrida pelo concreto em caso de incêndio. É bem verdade que toda a perda de umidade do concreto resultante do aquecimento pode resultar em queda da resistência e do módulo de deformação. Daí surge a necessidade de realizar pesquisas voltadas ao estudo dos danos causados por incêndios e do comportamento do concreto sujeito à ação do fogo, e a determinação de possíveis medidas que previnam, amenizem e controlem o processo de degradação térmica dos elementos estruturais. Por fim, conclui-se que a adição da fibra de PET no concreto, para se evitar lascamentos explosivos, provou ser eficiente, colaborando para a segurança estrutural dos elementos de CAR. O prosseguimento dessa pesquisa pode consolidar uma abordagem voltada a avaliação de um teor de adição mais adequado, que promova melhores resultados para a resistência à compressão e ao módulo de elasticidade, conduzindo-se assim à descoberta de materiais e técnicas que retardem ou reduzam a deterioração de uma estrutura.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. NBR 8522. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. Concretos para fins estruturais: Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. NBR 8953. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. Ensaio de compressão de corpos cilíndricos. NBR 5739. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. Projeto de estruturas de concreto: procedimento. NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CÁNOVAS, M.F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. São Paulo: Pini, 1988.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com Fibras. Cap. 39. In: Isaia, G. C (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, 2005

GONÇALVES, D. et al. O concreto de alto desempenho – CAD. 2015. 7 f. Sociedade Educacional de Santa Catarina (UniSociesc), Santa Catarina: UniSociesc, 2015.

LIMA, R. Investigação do comportamento de concretos em temperatura ambientes. 2005. 241 f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação UFRGS, Porto Alegre, 2005.

LORENZON, A. Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas. 2014. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais. Ed. Pini. São Paulo, 2008.

PIZZONI, A. Análise da influência do uso de macrofibras de polietileno em concretos de alta resistência (CAR) submetidos a altas temperaturas. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Regional Intregrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2014.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: PINI, 1998. 255 p.

WENDT, S. C. Análise da Mudança de Cor em Concretos Submetidos a Altas Temperaturas como Indicativo de Temperaturas Alcançadas e da Degradação Térmica. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2006.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO QUALITATIVO DA UTILIZAÇÃO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO COMO FÔRMA PARA OS PILARES DE CONCRETO ARMADO EM OBRAS DE PEQUENO PORTE DA CIDADE DE ERECHIM - RS

**Edson Tessmann Amaral**
**Alessandro Emilio Valmorbida**
**URI Erechim, RS 331, N° 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil, CEP 99700-000.**
**tessmannedosn@gmail.com, alessandroev@uricer.edu.br**

**Resumo:** *A alvenaria tem a função de garantir a habitabilidade de uma edificação, fornecendo um ambiente estanque, seguro e confortável. As normas existentes recomendam primeiramente a execução da estrutura de concreto armado e posterior construção das alvenarias, utilizando-se telas de amarração ou vergalhões para a ligação da estrutura de concreto com a alvenaria, porém, percebe-se em obras facilmente visíveis na cidade de Erechim-RS, um método não normatizado, baseado no conhecimento empírico dos executores, que não utiliza essas recomendações, utilizando a alvenaria de vedação como fôrma lateral para a execução dos pilares de concreto armado. Visando avaliar as razões para os executores locais adotarem este método, realizou-se um estudo de caso, onde foram visitadas 7 obras locais, aplicando-se um questionário contendo perguntas objetivas feitas aos executores e através das respostas coletadas nos questionários aplicados, chegou-se à conclusão de que 71,4% deles acredita que o método estudado é mais eficiente que outros métodos quanto a formação de fissuras. Ainda, 100% deles relatam que nunca tiveram problemas provenientes do método adotado.*

***Palavras chave:*** *Execução de Alvenarias. Alvenaria como fôrma. Ligação da alvenaria. Manifestações patológicas em alvenarias.*

## 1. INTRODUÇÃO

No panorama da construção civil brasileira, métodos alternativos de se edificar que visam maior agilidade em obras vêm se popularizando. Um desses métodos é a utilização da própria alvenaria de vedação como fôrma para pilares de concreto armado, porém esse método não é normativo, não tendo, desta forma, sua eficiência comprovada.

Quando se pensa nas estruturas compostas por alvenaria e concreto armado, a questão das manifestações patológicas e suas causas é o que mais traz preocupações por parte dos construtores e proprietários.

Um dos principais fatores que acarretam problemas para as obras é a movimentação térmica diferencial entre a alvenaria e a estrutura de concreto armado, é sabido que o módulo de dilatação dos elementos compostos por cerâmica é ($4$ à $8\ x\ 10^{-6}$ ($°C^{-1}$)) menor que o módulo dos elementos de concreto armado ($10x\ 10^{-6}$ ($°C^{-1}$)). Essa diferença nas propriedades de dilatação dos materiais, acarretam em fissuras justamente na interface alvenaria/estrutura. (DAL MOLIN, 1988).

Segundo Sahb (2005), recentemente na história da construção civil, vários edifícios residenciais no Brasil vêm apresentando prematuramente uma gama diversa de problemas patológicos e anomalias em suas fachadas, tendo as fissuras e trincas como as mais relevantes.

Essas manifestações ocorrem em maior recorrência na interface alvenaria/estrutura, comprometendo a harmonia e o bem-estar do usuário. A amarração entre a estrutura de concreto armado e as alvenarias de vedação exerce importante influência no desempenho entre as interfaces. Por consequência, ações corretivas não planejadas têm sido constantemente requeridas, acarretando em altos custos para recuperação e manutenção. (SAHB, 2005).

Quando se aborda o tema das alvenarias, é inevitável pensar sobre os diversos assuntos relacionados a ela e, também, sobre os elementos, componentes, formas de aplicação, deterioração, manifestações patológicas e abordagens distintas que se pode encontrar.

De acordo com Salgado (2013) no encontro da alvenaria e da estrutura de concreto armado, deve-se ter uma atenção especial para que haja uma integração efetiva na ligação entre esses elementos, chamado de “amarração”. Existem várias maneiras de se realizar tal amarração, com o emprego de tela galvanizada ou barras de aço entre as fiadas dos tijolos. De acordo com as figuras 1 e 2.

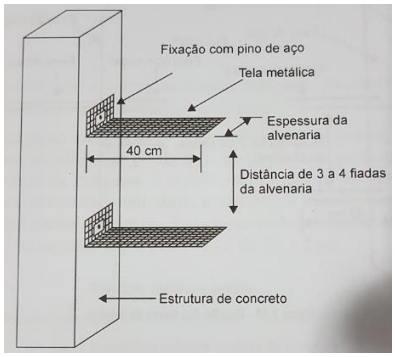



Figura 1 - Ligação com tela galvanizada
Fonte: SALGADO (2013)

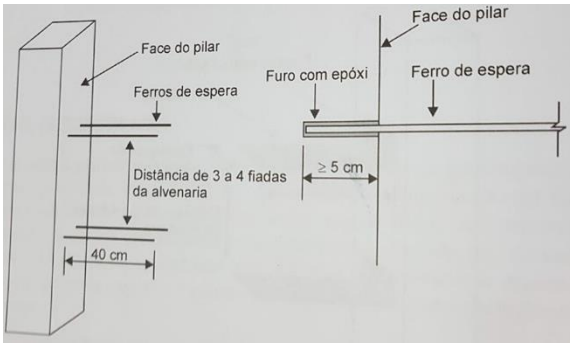



Figura 2 - Ligação com barras de aço
Fonte: SALGADO (2013)

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi desenvolvido com o uso de uma pesquisa realizada em canteiros de obras da cidade de Erechim-RS, buscando elencar aspectos relacionados ao método executivo estudado, onde se utiliza a alvenaria de vedação como fôrma para a execução dos pilares de concreto armado de edificações.

Para definir a quantidade de obras visitadas no estudo de caso da cidade de Erechim-RS, foi utilizado como parâmetro, um levantamento da quantidade de projetos aprovados de edificações novas e a regularizar do período de janeiro de 2015 a agosto de 2017, dados esses fornecidos pela prefeitura municipal. As obras analisadas foram limitadas a edificações com área de até 1000m², conforme dados da tabela 1. (CHIRNEV, 2018).

Tabela 1 - Obras em andamento no município de Erechim RS

| Ano | Quantidade de meses no ano | Obras até 1000 m² |
|---|---|---|
| 2015 | 12 | 381 |
| 2016 | 12 | 443 |
| 2017 | 8 | 312 |
| Total: | 32 | 1136 |
| Média de obras/mês: | 35,5 | |
| Total de amostras definidas em 20%: | 7,1 obras | |

Fonte: Adaptado de CHIRNEV (2018)

Com os dados coletados, obteve-se uma média de 35,5 projetos aprovados por mês. Tendo esse valor como referência, estabeleceu-se um percentual amostral de 20% sobre esse total, obtendo a quantidade de sete (7) obras a serem visitadas. (CHIRNEV, 2018).

Visando esclarecer os principais motivos para que os executores locais adotassem método executivo estudado elaborou-se as seguintes perguntas, presentes no questionário aplicado nas visitas às obras.

As perguntas descritas no questionário foram:

a) Porque foi escolhido esse método?
b) Quais as vantagens desse método?
c) A quanto tempo você executa as obras dessa maneira?
d) Você já teve algum problema associado a esse método de execução?
e) Você conhece outros métodos de se executar a alvenaria?
f) Você já executou as alvenarias por outros métodos ou sempre dessa forma?
g) Alguém já lhe pediu o porquê de ser executado dessa forma antes? Ou pediu que fosse executado de outra forma?

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se que o método é utilizado em diferentes situações, como em obras de ampliação e obras novas, e em diferentes tipos de ocupação como em residências e instituições conforme tabela 2.

Tabela 2 - Obras visitadas no estudo de caso

| Nº DA OBRA | TIPO DE OBRA | NATUREZA DA OBRA | DATA DA VISITA | QUESTIONÁRIO APLICADO |
|---|---|---|---|---|
| Teste | Residencial | Nova | 30/10/2018 | Q01-R00 |
| 01 | Institucional | Ampliação | 31/10/2018 | Q01-R01 |
| 02 | Residencial | Nova | 27/02/2019 | Q01-R01 |
| 03 | Residencial | Nova | 21/03/2019 | Q01-R01 |
| 04 | Residencial | Nova | 21/03/2019 | Q01-R01 |
| 05 | Residencial | Ampliação | 21/03/2019 | Q01-R01 |
| 06 | Residencial | Nova | 21/03/2019 | Q01-R01 |
| 07 | Residencial | Nova | 17/05/2019 | Q01-R01 |

Fonte: Autor (2019)

Percebeu-se também que as obras visitadas para o estudo de caso não eram de grande porte, limitando-se a obras térreas ou de até 1 pavimento.

Na figura 3 é possível conferir uma imagem de uma das obras visitadas no estudo de caso, é perceptível que o método empregado onde se utiliza a alvenaria de vedação como fôrma para os pilares de concreto armado.



Figura 3 - 1° obra visitada
Fonte: Autor (2019)

As respostas obtidas com os questionários aplicados nas obras visitadas foram compiladas em tabela comparativa, desta forma, elaborou-se 7 gráficos para demonstrar os principais motivos dos executores optarem por este método executivo e suas principais vantagens.

Nas figuras 10 a 16 são demonstrados os gráficos elaborados, cada gráfico representa uma das perguntas feitas nos questionários, como em cada obra pode-se ter mais de uma resposta, esses gráficos podem passar de 100%, contendo a porcentagem que a resposta da pergunta representa em um cenário onde 7 é igual a 100%.

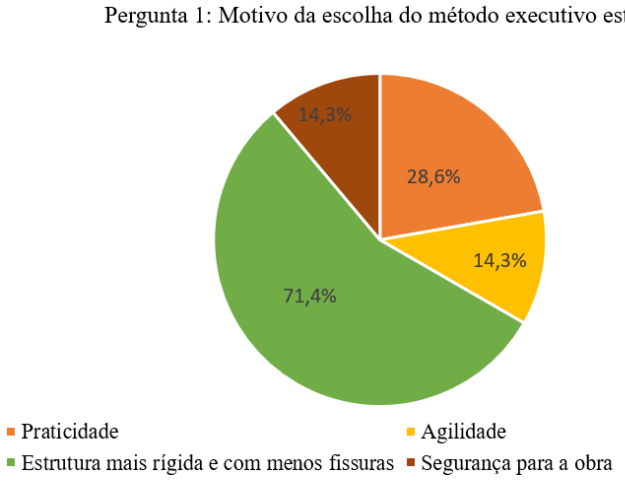



Figura 4 - Respostas da pergunta 1 do questionário
Fonte: Autor (2019)

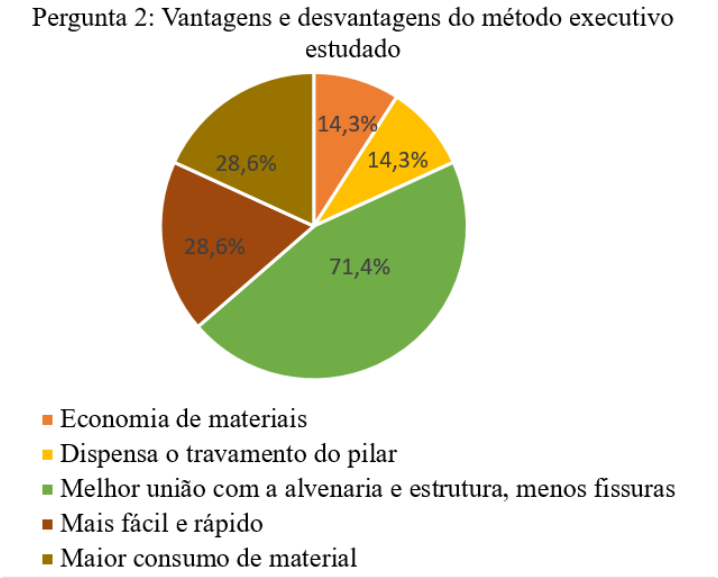



Figura 5 - Respostas da pergunta 2 do questionário
Fonte: Autor (2019)

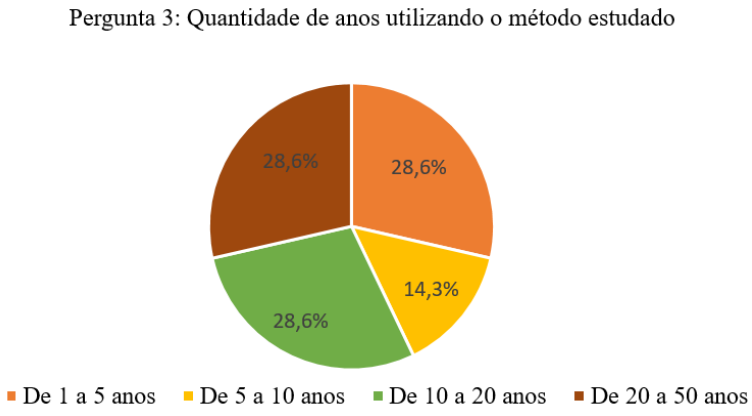



Figura 6 - Respostas da pergunta 3 do questionário
Fonte: Autor (2019)

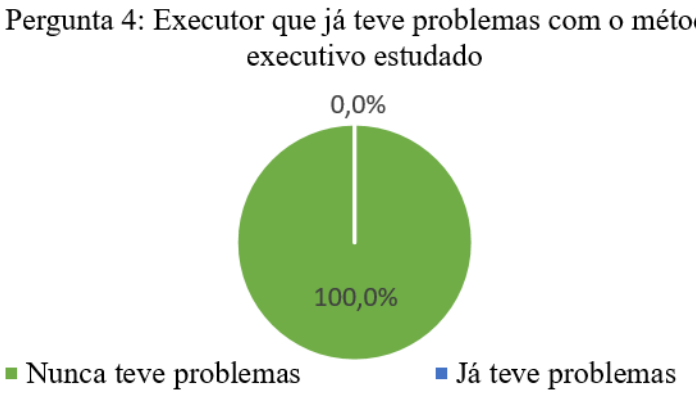



Figura 7 - Respostas da pergunta 4 do questionário
Fonte: Autor (2019)

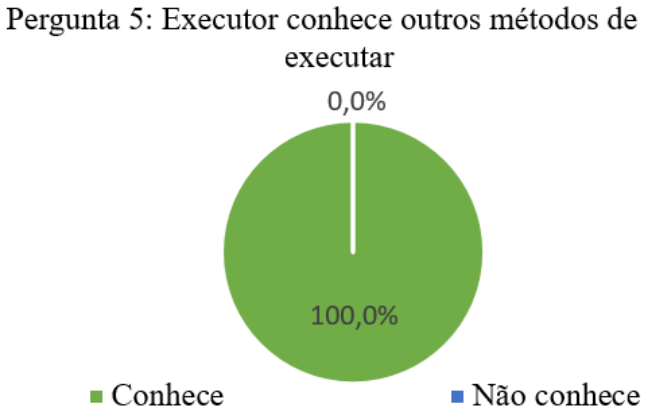



Figura 8 - Respostas da pergunta 5 do questionário
Fonte: Autor (2019)

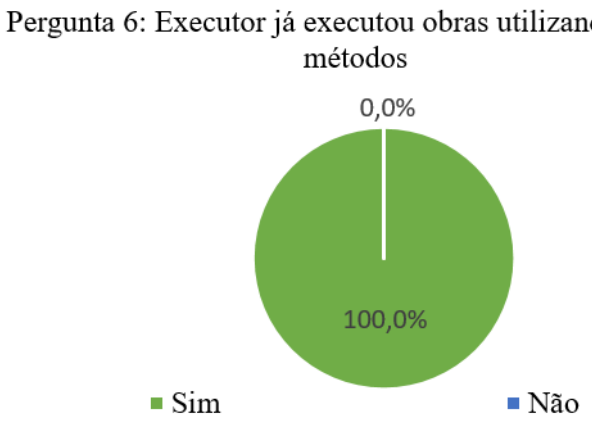



Figura 9 - Respostas da pergunta 6 do questionário
Fonte: Autor (2019)

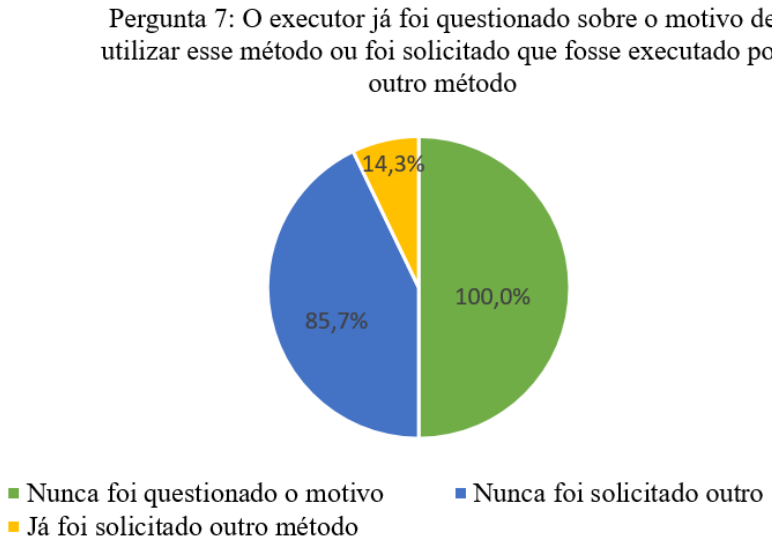



Figura 10 - Respostas da pergunta 7 do questionário
Fonte: Autor (2019)

Constatou-se pelo gráfico da figura 8, que 71,4% dos executores optam por esse método devido a crença de que o mesmo traz mais benefícios para a edificação, a deixando mais rígida e com menos fissuras do que outros métodos, 28,6% de que ele é mais prático, 14,3% de que ele é mais seguro e 14,3% de que ele é mais ágil.

As principais vantagens relatadas na figura 9 foram, 71,4% para a melhor união entre a alvenaria e a estrutura gerando menos fissuras, 28,6% mais fácil e rápido de ser executado, 28,6%, porém, relatam o maior consumo de material com esse método, 14,3% que ele é mais econômico e 14,3% de que ele dispensa o travamento do pilar.

Verificou-se que o método estudado é utilizado há vários anos, não sendo uma novidade no mercado, existem executores que trabalham a vários anos com o método estudado, como também, iniciantes que já o utilizam, apesar de ser uma pratica empírica ela é perpetuada para as novas gerações, tendo-se 28,6% dos executores utilizando este método de 20 a 50 anos, 28,6% de 10 a 20 anos, 14,3% de 5 a 10 anos e 28,6% de 1 a 5 anos.

De acordo com as figuras 11, 12 e 13, 100% dos executores relatam que nunca tiveram problemas com o método estudado, que conhecem outros métodos, mas optam em utilizar o método abordado e que já executaram obras com outros métodos.

Quando questionados se alguém já havia solicitado outro método para a execução das obras apenas 14,3% relataram que em raras exceções, dependendo do tipo de financiamento que o proprietário faz para a execução da obra, o banco ou instituição financeira exige um tipo especifico de execução, respeitando as normas vigentes, como o método em questão não é normatizado, não foi possível a sua utilização, porém, 85,7% relatam que nunca lhes foi solicitado outro método nas obras. 100% ainda relatam que nunca foram questionados sobre o motivo de escolher o método estudado.

Os executores relataram que quando se trata de obras maiores como prédios ou residências de grande porte, os métodos adotados são sempre os normatizados, segundo eles o método estudado pode acarretar na sobrecarga da estrutura de alvenaria, provocando fissuras quando o carregamento da estrutura é elevado.

## 4. CONCLUSÕES

A fim de se obter algumas informações a respeito dos motivos de algumas obras serem executadas com o método em questão, realizou-se um estudo de caso com 7 obras da cidade de Erechim-RS, nas obras visitadas foi aplicado aos executores um questionário contendo algumas perguntas práticas.

Através das respostas obtidas nos questionários, montou-se uma planilha com as respostas compiladas e a partir desta, elaborou-se gráficos percentuais para cada uma das 7 perguntas, com esses dados constatou-se que 71,4% dos executores acreditam que estruturas executadas com o método estudado são mais rígidas e menos propensas a fissuras, 100% dos executores relataram que nunca tiveram problemas oriundos do método executivo utilizado.

Observou-se que a metodologia empírica não se restringe a executores experientes, sendo que 28,6% dos executores entrevistados executam dessa maneira de 1 a 5 anos e 28,6% de 20 a 50 anos, desta forma, é visível que a pratica se mantem atual, passando de geração para geração.

Conclui-se que com os dados coletados nas visitas e com as respostas dos executores locais, foi possível constatar e responder satisfatoriamente as perguntas iniciais, chegando-se a conclusão de que o método executivo empírico praticado pelos executores locais, mostrou-se eficaz na ligação entre a alvenaria e a estrutura de concreto armado, não provocando ou facilitando o surgimento de fissuras nas alvenarias.

## 5. AGRADECIMENTOS

O somatório dos esforços das pessoas envolvida nesse estudo, possibilitou grande enriquecimento pessoal e intelectual para seus autores, além, acima de tudo, trazer clareza ao assunto abordado, contribuindo para evitar possíveis problemas em decorrência das técnicas construtivas adotadas.

Tendo dito, o objetivo de qualquer estudo jamais deve ser apenas ganho próprio, e sim o enriquecimento de todos os seus leitores e sociedade.

Com isso, agradeço aqueles que sem questionar se dispuseram a ajudar na elaboração deste estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

CHIRNEV, D. J. Estudo da aplicação dos requisitos de qualidade no processo de execução de armaduras para concreto de sapatas, vigas e pilares em construções da cidade de Erechim-RS. Erechim-RS, 2018, **Monografia (Graduação)** Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Erechim – RS, 2018.

DAL MOLIN, D. C. C. Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

SALGADO, Julio Cesar Pereira. Técnicas e práticas construtivas para edificação. 2 ed. rev. São Paulo: Érica, 2013.

SAHB, C. A. S. **Contribuição ao estudo da interface estrutura – alvenaria externa em edifícios verticais.** 2005. 418p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil, Goiânia, 2005.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EFEITOS DO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO EM MOBILIÁRIO URBANO DE REDES ELÉTRICAS NA CIDADE DE MARAU – RS

**Alexandre Dall´agnol, Amanda Silveira, Emmyle Marcon, Júlia Henrich, Luis Felipe Foscarini, Márcio Baldissera Prauchner, Richard Thomas Lermen e Rodrigo de Almeida Silva.**
IMED – Faculdade Meridional, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Rua Senador Pinheiro, 304, Vila Rodrigues, Passo Fundo, Brasil.
ale@intelldesign.com.br, amandasilveira.eng@gmail.com, emmylemarcon@hotmail.com, jh.arquitetura@hotmail.com, luisffoscarini@gmail.com, mprauchner@gmail.com, richard.lermen@imed.edu.br e rodrigo.silva@imed.edu.br.

**Elen Cristina Faustino Boff**
IMED – Faculdade Meridional, Escola de Engenharia Civil, Rua Senador Pinheiro, 304, Vila Rodrigues, Passo Fundo, Brasil.
elen.boff@imed.edu.br

***Resumo:*** *No estado do Rio Grande do Sul observa-se a incidência da corrosão das armaduras em cerca de 30% das estruturas de concreto armado. A carbonatação é umas das origens desta patologia, levando à formação da pilha eletroquímica, que ocorre em consequência da redução da alcalinidade do concreto em função da redução do pH. Com o objetivo de sedimentar os conceitos de reações redox, pilha eletroquímica e equilíbrio químico, foi avaliado a ocorrência da corrosão em mobiliário urbano da rede elétrica na cidade de Marau/RS. As análises foram baseadas em inspeção visual e levantamento fotográfico das patologias encontradas. Foram encontrados desplacamentos da camada de cobrimento e fissuração do concreto. Estas patologias são comumente originadas pelo fenômeno da carbonatação. Além disto foi detectado que em alguns casos os desplacamentos foram causadas por impactos de objetos ou veículos. Em ambos os casos encontrou-se armaduras expostas ao meio ambiente. Esta exposição causa a redução da seção da armadura o que pode comprometer a resistência mecânica do elemento. Foi observado que as causas destes fenômenos podem ser atribuídas a erros de dimensionamento, dosagem dos materiais ou por acidentes aos quais os elementos estão expostos. Também verificou-se que existe a necessidade de realizar devidos reparos em elementos danificados para não comprometer a sua resistência mecânica.*

***Palavras chave:*** *Pilha Eletroquímica, Carbonatação, Postes de Concreto Armado.*

## 1. INTRODUÇÃO

A carbonatação em postes de concreto armado é um processo evidente na maioria das cidades brasileiras, tanto é que normas para estes produtos veem sendo aplicadas a pouco tempo. Há milhares de postes fabricados sem controle de qualidade documentado nos últimos anos. Um fator importante que se deve levar em conta é a caracterização por muitas redes elétricas, telefônicas ou dados foram substituídas há poucos anos, sendo que postes de madeira tratada eram usados quase como padrão por muito tempo. Fatores importantes como carbonatação tem o tempo como aliados no ataque químico em todo sistema e como comentado anteriormente, redes com postes de concreto não passam de 30 anos na região de coleta de dados. Por outro lado, geograficamente há uma diferença muito grande quanto a agravadores comparados a grandes metrópoles onde níveis de CO2 tendem a acelerar esses processos químicos principalmente em avenidas mais movimentadas. Sabendo-se da gravidade da ocorrência de um colapso estrutural, desse nível, há sempre a preocupação de levantamento patológico de aparentes desgastes, falhas e trincas mecânicas. A alternativa adotada foi a inspeção visual na cidade de Marau – RS onde foram encontrados postes de concreto armado com armaduras expostas e suscetíveis a terem sua integridade estrutural comprometida com o tempo. Casos como postes com trincas devido a possível carbonatação, camada de concreto insuficiente para sobrepor a armadura, possível descolamento devido a choque com automóvel e outras causas que necessitaram de investigação detalhada. Outros estudos específicos que foram realizados são a medição da profundidade da carbonatação e medição da perda de seção da armadura aparente conforme normas vigentes onde constatou-se uma preocupante instabilidade da integridade de alguns postes devido as patologias evidenciadas neste documento. Este artigo trata de como pode ser prevenido e quais são os diagnósticos utilizados para a contenção dos problemas encontrados nas amostragens.

Com o objetivo de consolidar os conceitos de reações redox, pilha eletroquímica e equilíbrio químico, foi realizado avaliação da ocorrência da corrosão em mobiliário urbano da rede elétrica na cidade de Marau/RS, evidenciando patologias encontradas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A corrosão é um fenômeno de depassivação da armadura por ataques de Cloretos e diminuição da alcalinidade do concreto (carbonatação). É o processo de deterioração da fase metálica existente que ocorre em meio aquoso e se dá na presença de oxigênio. Durante seu processo evolutivo, há a formação de produto de caráter expansivo, provocando inclusive perdas de seção e consequente redução da vida útil dos elementos produzidos com concreto armado.

### 2.1 Corrosão por carbonatação

A Hidratação do cimento gera silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)2) principal responsável pela geração de um meio alcalino – PH próximo de 13 (CASCUDO, 2005). No concreto, a alta alcalinidade gera uma camada passsivadora ao longo das barras de aço que protegendo elas do fenômeno da corrosão (CASCUDO, 2005). A carbonatação ocorre através de um fenômeno físico-químico que resulta em mudanças da microestrutura e na diminuição do PH do concreto (alcalinidade), ou seja, a depassivação do aço (WERLE; KAZMIERCZAK; KULAKOWSKI, 2011).

Esta é diretamente dependente da concentração de gás carbônico (CO2) no ambiente, do percentual de umidade do ar, da temperatura, tipo de cimento, adições, agregados e cura (CASCUDO, 2005). Pode ser medida pela Fenolftaleína e timoftaleina: substâncias essas que em contato com a solução alcalina do concreto, rica em hidróxido de cálcio (Ca(OH)2), adquirem colorações típicas conforme a substância aplicada, através de uma faixa de PH (WERLE; KAZMIERCZAK; KULAKOWSKI, 2011).

### 2.2 Corosão por cloretos

Estruturas de concreto armado localizadas em ambientes agressivos, como marinho ou industrial, podem sofrer deterioração por agentes agressivos. O mais comum é o íon cloreto, o qual é considerado um dos maiores causadores de corrosão antecipada nas armaduras de estruturas de concreto, comprometendo sua resistência e estabilidade (HÖEHR et al, 2011).

Em estruturas de concreto armado a corrosão do aço é de natureza eletroquímica e acontece em meio aquoso, o qual o processo físico-químico causador dos óxidos e hidróxidos de ferro é devido à formação de uma célula de corrosão, com eletrólito e diferença de potencial entre pontos da superfície (POLITO, 2006). Conforme os óxidos e hidróxidos desenvolvidos no processo de corrosão ocupam um volume maior que as barras de aço originais há a ocorrência de uma expansão no interior do concreto, o que pode gerar tensões elevadas, ocasionando uma desagregação do cobrimento de concreto. Além disso, devido ao processo corrosivo, há uma redução da seção de armadura e, consequentemente, uma diminuição da resistência, podendo induzir a estrutura ao colapso (HÖEHR et al, 2011), (ANDRADE, 2001), (AÏTCIN, 2000).

Em armaduras de aço podem ocorrer diversos tipos de processos corrosivo, dentre eles podemos destacar o processo de corrosão por oxidação direta e corrosão eletroquímica:

A corrosão por oxidação direta é caracterizada pelo estabelecimento de uma reação química entre o metal e o agente agressivo, sem que haja deslocamento de elétrons. Ocorrendo uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido de ferro. Sendo muito lento à temperatura ambiente e não provoca deterioração das superfícies metálicas, exceto quando existirem gases extremamente agressivos na atmosfera. Normalmente os produtos gerados por esse tipo de processo são uniformes, aderentes e podem atuar como uma barreira contra a ação degradante do meio, impedindo o prosseguimento do mesmo e aumentando a resistência da armadura contra a corrosão em meio aquoso (HELENE, 1993).

A corrosão eletroquímica é gerada pela formação de pilhas ou células de corrosão, devido à presença de um eletrólito na superfície das barras ou no concreto que as envolve. O produto deste tipo de corrosão é heterogêneo, poroso e de baixa aderência. Sendo formado por óxidos e hidróxidos de ferro, de coloração avermelhada e pulverulenta, que recebem a denominação de produtos de corrosão. Sendo que a corrosão eletroquímica ocorre somente quando num eletrólito houver disponibilidade de oxigênio e for estabelecida uma diferença de potencial entre dois metais ou entre dois pontos de um mesmo metal, podendo haver presença ou não de agentes agressivos (P. D. E. P. Em, E. Civil, A. Da, and S. Torres, 2011).

### 2.3 Fatores que exercem influência na carbonbatação

Existem fatores que exercem influência no fenômeno de carbonatação de forma direta, como a concentração de CO2 no ambiente, temperatura, umidade relativa do ar, além de fatores intrínsecos do concreto, como os agregados, tipo de cimento, as adições, e a cura (CASTELLOTE, 2009).

a) Concentração de CO2: a diferença de concentração do gás entre os meios interno e externo faz com que ocorra a difusão do CO2 na rede de poros, interferindo sensivelmente na ocorrência da carbonatação através da rede de poros do concreto (KAZMIERCZAK, 1995);

b) Temperatura: A temperatura tem pouca influência sobre o processo de carbonatação, uma vez que o fator que determina a velocidade de carbonatação é a difusão de CO2 (PAPADADAKIS,1991)

c) Umidade relativa: O fenômeno da carbonatação é perceptível em umidades relativas abaixo de 50%, não havendo água suficiente para as reações ocorrerem. Porém, no caso de os poros estarem saturados, a velocidade de transporte do CO2 é reduzida (PAPADADAKIS,1991);

d) Cimento: A quantidade e o tipo de cimento escolhidos para confeccionar o concreto define a quantidade de composto alcalinos disponíveis que irão reagir com o CO2, fazendo com que ocorra o avanço da frente de carbonatação (FIGUEIREDO,2005)

e) Adições minerais: As adições influenciam no fenômeno de carbonatação de forma acelerada para o caso de adições alcalinas, e desacelerada para o caso de adições que garante o fechamento dos poros, bloqueando a entrada de CO2 (WERLE; KAZMIERCZAK; KULAKOWSKI, 2011). Concretos que possuem cimento com adições tem uma tendência a carbonatar mais se comparados com concretos confeccionados com cimento comum (PAULETTI, 2004). Também pode-se afirmar que quanto mais fina a adição, mais reativa ela se torna, reagindo de forma mais rápida com o hidróxido de cálcio, deixando o meio suscetível ao processo de carbonatação (VENQUIARUTTO et al, 2002);

f) Relação água/aglomerante: essa relação influência de forma direta o avanço da frente de carbonatação, já que as características microestruturais são dependentes desta relação. A velocidade de carbonatação será maior quanto maior for a relação água/cimento e quantidade de adições (WERLE; KAZMIERCZAK; KULAKOWSKI, 2011);

g) Tipo de agregado: O tipo de agregado utilizado para a confecção do concreto não tem influência sobre o fenômeno da carbonatação, uma vez que os agregados são considerados inertes em relação ao fenômeno (PAPADADAKIS,1991);

Cura: a cura tem influência direta no desempenho das estruturas, de forma que quanto melhores forem as condições de cura, melhores serão as reações de hidratação, que irão diminuir a porosidade do concreto, fazendo com que as propriedades do concreto melhorem (HELENE, 1993).

### 2.4 Patologias

As patologias em estruturas de concreto, reduzem a resistência mecânica do material e consequentemente a vida útil da estrutura (BEDDOE; DORNER, 2005; GAIER, 2005; SILVEIRA, 1996). Além disto elevam o custo com manutenções, uma vez que estas tenham que ocorrer precocemente (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011). No ano de 2004, em países da Europa como Itália, França e Alemanha, foram gastos mais de 75 bilhões de euros com reparos e manutenções de estruturas de concreto, sendo este valor equivalente ao valor investido na construção de novas edificações (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011). No Brasil a corrosão de armadura é responsável por cerca de 20% dentre todas as patologias em estruturas de concreto (MOTA et al., 2009). Em diferentes regiões no Brasil, a exemplo, no Estado do Rio Grande do Sul, observa-se que a incidência de corrosão das armaduras é da ordem de 30% (GALVÃO, 2004). De maneira geral, as patologias em estruturas de concreto causadas pela corrosão da armadura apresentam diversos aspectos como os apresentados por (CASCUDO, 2005).

- Fissuras no concreto paralelas as armaduras;
- Fragmentação e destacamento do cobrimento;
- Lascamento do concreto em estágios avançados;
- Exposição das armaduras corroídas, muitas vezes apresentando produtos que se avolumam rapidamente na superfície das barras, sob forma de crosta de ferrugem, ou mesmo apresentando perda acentuada da seção e apresentando rugosidade excessiva na superfície das barras;
- Comprometimento da aderência do aço no concreto;
- Flambagem de elementos estruturais lineares aonde os esforços de compressão são preponderantes devido a redução da aderência entre o concreto e o aço;

Manchamento das superfícies de concreto com coloração ferruginosa (ocorrem principalmente em superfícies úmidas aonde os produtos de corrosão são trazidos para a superfície pela água).

### 2.5 Formas de reparo

CASCUDO (1997), apresenta alguns métodos para tratamento do processo de corrosão de armaduras, sendo eles: reparos localizados, reparos generalizados, remoção eletroquímica dos cloretos, controle no processo catódico, eliminação do eletrólito e proteção catódica.

O tratamento das áreas afetadas pela corrosão em postes de redes elétricas, também conhecido como como reparos localizados, geralmente é realizado seguindo uma sequência de sete etapas: 1) delimitar a área com corte utilizando uma serra circular; 2) fazer a escarificação (remoção) do concreto solto e deteriorado; 3) limpar o produto de corrosão formado, utilizando escova de aço ou jatos de ar ou água; 4) preparar a superfície do metal utilizando material passivador para maior proteção; 5) aplicar revestimento da armadura (pintura); 6) Recompor o concreto com argamassa de reparo e acabamento da superfície; e, 7) cura da argamassa de reparo e proteção da superfície do concreto.

Neste processo de recuperação, muitas variáveis e condições devem ser observadas. HELENE (1992) sugere que a escolha dos materiais e técnicas de correção esteja coerente com o diagnóstico e as exigências de funcionamento e levando-se em conta o tempo disponível para carregamento das estruturas após a realização dos reparos. Nestas situações pode-se utilizar sistemas de base epóxi ou poliéster para prazos curtos, e, argamassas ou grautes de base mineral para prazos mais dilatados.

Com relação a recuperação física das armaduras, pode-se utilizar materiais de caráter físico ou orgânico como galvanização, resinas Epóxi, Inibidores, proteção catódica galvânica, proteção catódica por corrente, re-alcalinização ou ainda extração de Cloretos de forma que seja possível ampliar a vida útil da armadura dos elementos (REIS, 2001);

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Pesquisa bibliográfica

Durante a pesquisa buscou-se artigos relacionados a carbonatação de estruturas de concreto armado. Como palavras chave para a pesquisa nos bancos de dados foram utilizadas: Corrosão em armaduras e carbonatação. A Figura 1 apresenta o fluxograma que ilustra o esquema de metodologia utilizada para a escolha dos trabalhos.

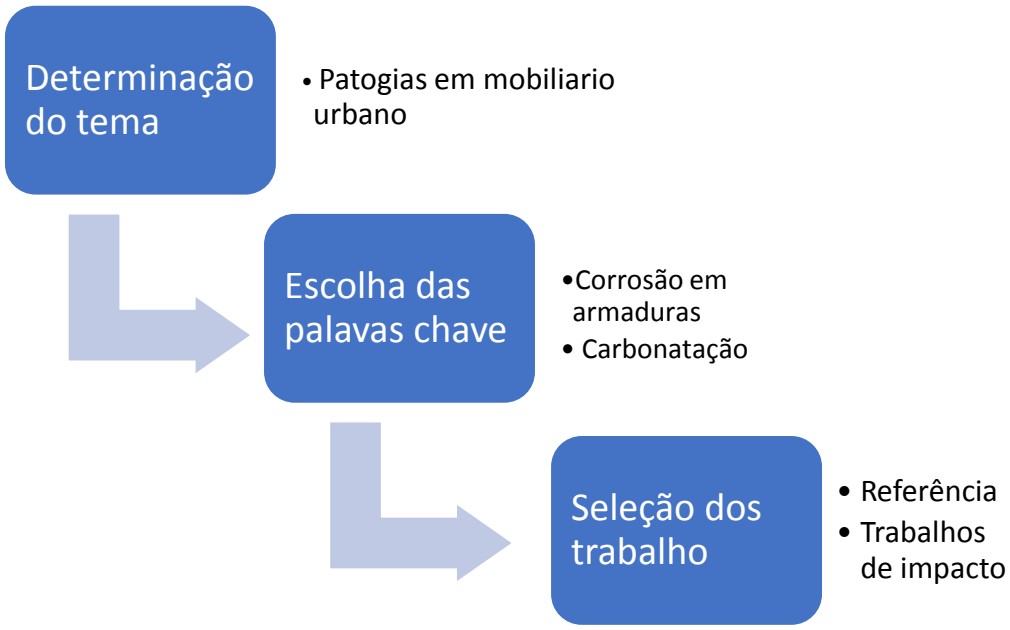



Figura 1. Metodologia da pesquisa bibliográfica

### 3.2 Seleção dos postes

A seleção dos postes a serem analisados seguiu basicamente dois critérios: (a) localização dos postes, (b) tipo de patologia encontrada. Tomou-se cuidado para que cada poste estivesse em uma localização especifica, além de zona industrial ou em zonas de alto fluxo de veículos (exposto a um ambiente com elevada concentração de CO2). Além da escolha de zonas especificas os postes escolhidos somente se apresentassem problemas visíveis de degradação, descascamento e exposição da armadura. Assim possibilitaria analisar de maneira mais completa os resultados.

### 3.3 Apresentação dos resultados

A apresentação dos resultados seguiu um padrão especifico. Primeiramente foi apresentada a localização do poste, seguido da imagem da patologia encontrada e posteriormente foi feito um comentário técnico especifico sobre o problema. A Figura 2 a seguir ilustra a metodologia de apresentação dos resultados.

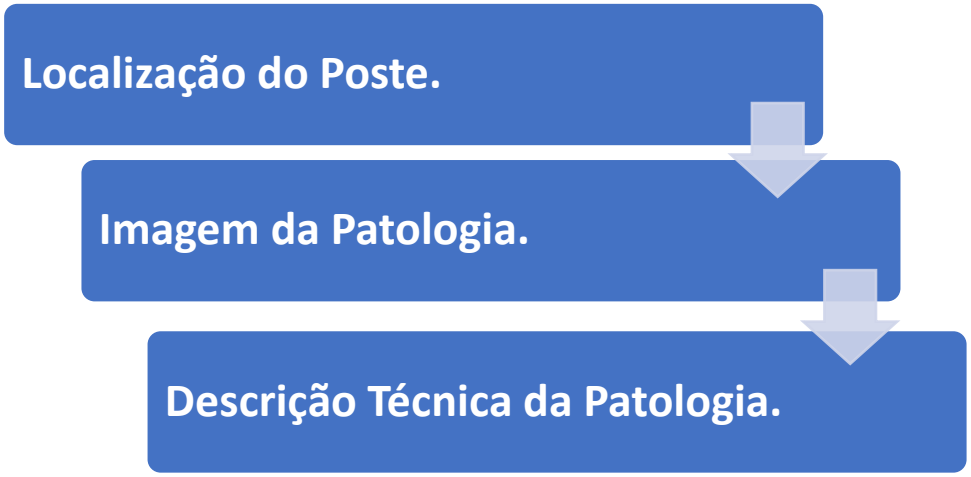



Figura 2. Metodologia de apresentação dos resultados

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os postes de concreto armado, objeto desse estudo, estão localizados na cidade de Marau/RS, conforme mostrado na Fig. 3. Os postes 01 e 02 estão inseridos em uma zona mista, de trânsito razoável, localizados ao lado de uma fábrica de estruturas metálicas. O poste 03 está inserido logo após o trevo de entrada da cidade, em uma área aberta, de trânsito intenso de veículos. O poste 04 está localizado em uma rua com baixo tráfego de veículos.




Figura 3. Localização dos postes de concreto

A Figura 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**mostra o estado crítico em que se encontra o Poste 01, apresentando fissuração generalizada em sua estrutura, ficando suscetível à entrada de água e de agentes agressivos, já que está localizado próximo à uma fábrica. Como consequência, ocorreu o desplacamento do concreto, ficando a armadura exposta, sem o devido cobrimento que a protege. Analisando as imagens acredita-se que ainda não houve perde de seção da armadura, porém se os devidos reparos não forem realizados, é provável que ocorra.



Figura 4. Poste 1

Como pode ser visualizado na Fig. 5 houve o desplacamento do concreto no Poste 02, gerado provavelmente por tensões internas e externas, fazendo com que a estrutura esteja exposta aos agentes agressivos inseridos no meio em que está localizado, como água, íons agressivos, e gases. Consequentemente, a armadura também está exposta, o que poderá acarretar a sua corrosão, podendo perder a função estrutural para a qual foi projetada, caso os devidos reparos não sejam realizados.



Figura 5. Poste 2



Figura 6. Poste 3

A Figura 6 mostra o poste número 03 que foi avaliado nesta pesquisa. Esse poste está inserido próximo ao trevo de entrada da cidade, em um local de fluxo constante de veículos, apresentando um desplacamento na parte inferior, provavelmente ocasionada por impacto de objetos ou veículo. Apesar, de estar sob influência constante de CO2 (gás carbônico), pela imagem observa-se um processo de corrosão discreta na ferragem exposta.



Figura 7. Poste 4

A Figura 7 mostra o poste número 04 que foi avaliado nesta pesquisa. Este poste está localizado em uma rua com baixo tráfego de veículos, com desplacamento da camada de concreto, com ferragem em dois lados completamente expostas, comprometendo a estabilidade da estrutura. Já apresenta processo de corrosão, conforme demonstra o registro fotográfico.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos postes analisados pode-se observar que todos apresentaram sérios problemas de desplacamento, resultando na exposição da armadura.

A exposição da armadura deixa visível o início do processo de corrosão, resultando na perda de seção da mesma, comprometendo assim a estabilidade da estrutura.

Observa-se um descaso por parte dos órgãos responsáveis pelo monitoramento do mobiliário elétrico urbano, podendo acarretar o colapso estrutural causando riscos de acidentes.

O desplacamento pode ter sido provocado por erro de dimensionamento ou falha da execução durante a fase de fabricação.

O mobiliário urbano elétrico requer um monitoramento periódico de reparo e manutenção de patologias, evitando a propagação das mesmas e comprometimento das estruturas.

## 6. REFERÊNCIAS

CASCUDO, Oswaldo. Inspeção e diagnóstico de Estrutura de Concreto com problemas de Corrosão da Armadura. In: ISAIA, Geraldo Cechela (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: Ibracon, 2005. Cap. 35. p. 953-983.

CASCUDO, Oswaldo. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto**: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas.1ª ed., São Paulo: Ed. Pini, 1997. 237p.

GOOGLE MAPS. **[Cidade de Marau]**. [2017]. Mapa base para localização de Postes danificados. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Marau>. Acesso em: 01/06/2017.

HELENE, Paulo. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Pini, 1992. p. 10-28.

HELENE, Paulo. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 231 f. 1993, São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HÖEHR, Guilherme Trindade, Geraldo C. ISAIA, GASTALDINI, Antonio Luiz Guerra, CERVO, T. C., JUNIOR, P. O. **"Durabilidade do concreto com cinza de casca de arroz natural frente à penetração de cloretos por imersão,"** An. do 53o Congr. Bras. do Concreto, no. 1, pp. 1–14, 2011.

KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. **Contribuição para a Análise Estrutural da Eficiência de Películas Aplicadas sobre Estruturas de Concreto Armado com o Objetivo de Proteção Contra a Carbonatação**. 1995. 168f. São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

POLITO, Giulliano. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Causas, Mecanismos, Prevenção e Recuperação.** 2006. 191 f. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.** 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

WERLE, Ana Paula.; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; KULAKOWSKI, Marlova Piva. Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto. **Ambiente Construído (Online)**, v. 11, p. 213–228, 2011.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto atacadas pela corrosão das armaduras: iniciação por cloretos. 2001. (Dissertação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

AÏTCIN, Pierre. Claude. Concreto de Alto Desempenho. 1ª Ed. PINI. São Paulo, 2000.

P. D. E. P. Em, E. Civil, A. Da, and S. Torres, "Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Corrosão Por Cloretos Em Estruturas De Concreto Armado : Uma Meta-Análise Corrosão Por Cloretos Em Estruturas De Concreto Armado : Uma Meta-Análise," 2011.

CASTELLOTE, Marta et al Chemical Changes and Phase Analysis of OPC Pastes Carboneted at Different CO2 Concentrations. **Materials and Structures**, v.42, n.4, p.515-525, 2009.

PAPADADAKIS, Vagelis. G.; VAYENAS, Costas. G.; FADIS, Michael. S. Fundamental Modeling and Experimental Investigation of Concrete Carbonation. **ACI Materials Journal**, v.88, n.4, p. 363-373, 1991.

FIGUEIREDO, Enio. Pazini. Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v.2.

PAULETTI, Cristiane. **Análise Comparativa de Procedimentos para Ensaios Acelerados de Carbonatação**. 176 f. 2004. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VENQUIARUTTO, S. D.; ISAÍA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. Carbonatação do Concreto Estrutural com Altos Teores de Adições Minerais e Diferentes Finuras. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9.; 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002.

BEDDOE, Robin E.; DORNER, Horst. W. Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 12, p. 2333–2339, 2005.

GAIER, Claudia. Veppo. Análise do desempenho de materiais de reparo industrializados para estruturas de concreto frente ao ataque ácido. 2005.

GALVÃO, Simone Perruci. Avaliação do desempenho de argamassas de reparo estrutural à base de cimento Portland modificadas por polímeros e contendo adições minerais. **Universidade Federal de Goiás**, 2004.

MEDEIROS, Marcelo. H. F.; ANDRADE, Jairo. José De Oliveira.; HELENE, Paulo. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1, p. 773–808, 2011.

MOTA, João M. F. et al. Análise das patologias em estruturas de concreto na zona litorânea da cidade do Recife-PE. **v. 6118**, n. 1983, 2009.

SILVEIRA, Adriana. Augustin. Utilização de Cinza de casca de Arroz com vistas a durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos. **v. 5**, 1996.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE GARIMPOS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

**Fernanda De Marco**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
fernanda_demarco@hotmail.com

**William Widmar Cadore**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
william@uri.edu.br

**Larissa Dalpiva Riboli**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
*larissariboli99@gmail.com*

**Vanessa Inês Urnau**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
vanessa_99_urnau@hotmail.com

**Tuani Zat**
Universidade Federal de Santa Maria. – RS - 97010-001
tuanizat@hotmail.com

***Resumo*****:** *Na região do Médio Alto Uruguai, observa-se grande influência econômica e social do setor mineralógico devido à abundância de minerais preciosos e um contraste com a geração de resíduos ocasionados por esta atividade. O objetivo do presente estudo é avaliar a viabilidade técnica do emprego desses resíduos em compostos argamassados. A metodologia propõe a dosagem de acordo com o traço volumétrico 1:5 para a relação a/c de 1,3. Foram empregados cinco traços com teores de substituição do agregado miúdo de 0, 30, 50, 70 e 100% respectivamente. Os corpos de prova foram curados e ensaiados aos 7 e 28 dias. Os resultados da análise de resistência indicam que as misturas com substituição da areia natural por pó de rocha ametista tendem a diminuir a resistência quando comparado a moldagem referência. No entanto, todas as resistências obtidas atendem o estipulado pela norma. Nota-se ainda, que as misturas perdem a trabalhabilidade à medida que aumenta a quantidade de resíduo. Por fim, o uso do pó de rocha ametista em argamassas mostra-se como um material que fortalece o potencial da cadeia regional da extração da pedra ametista.*

***Palavras chave*****:** *Argamassa, Resíduos, Pó de Rocha Ametista, Desenvolvimento Regional*

## 1. INTRODUÇÃO

Identifica-se no setor mineral uma dualidade com a grande abundância mineralógica e o contraste ocasionado pela deposição de resíduos originados pela extração de minerais preciosos. E, embora a explotação das gemas traz benefícios econômicos, a disposição incorreta dos resíduos em sopés ou encostas de morros prejudica a topografia do local e a sua possível utilização para outros fins rentáveis como a agricultura e a pecuária. Enquadra-se nessa seara, o município de Ametista do Sul, o qual é conhecido devido a extração de minerais preciosos, especificamente a pedra ametista e a ágata. Atualmente toda a região do Médio Alto Uruguai esta envolvida com o garimpo, atividade responsável por parte considerável da economia.

A explotação (retirada, extração e obtenção) dos minérios ocorre por meio de galerias horizontais, sempre a uma mesma altitude. O desmonte da rocha para a extração dos geodos é realizado por meio de explosivos que acarretam em uma grande quantidade de resíduos. Esses resíduos, devido a alteração da rocha basáltica no nível em que se encontram os geodos e a sua forma de extração são considerados como um material inerte, o metabasalto.

Nesse sentido, embora a areia seja o material mais utilizado como agregado miúdo na construção civil, conforme Moitinho e Leite (2015) as atividades de extração de areia também são responsáveis por impactos ambientais negativos, como a retirada da cobertura vegetal nas áreas a serem lavradas. Consequentemente, de acordo com Valverde (2001),

leis de zoneamento municipais restringem a extração de areia em alguns locais. O difícil acesso ao agregado acarreta em um aumento do custo de transporte, influenciando no custo total do material. Atrelado a essa necessidade surgem alternativas que envolvem o estudo de novos materiais para o aprimoramento da argamassa, como o uso de resíduos industriais.

Dessa forma, a pesquisa emerge da necessidade de solucionar dois problemas distintos a partir da produção de argamassa com a utilização de resíduos oriundos da extração de pedra preciosas em ametista: um ambiental e o outro econômico. A primeira alternativa busca a redução dos impactos ambientais ocasionados pelo processo convencional da extração de areia e da disposição incorreta dos rejeitos da explotação de pedra ametista que prejudicam a fauna e a flora do município. A segunda é econômica, pois o pó de rocha ametista é um resíduo encontrado facilmente na região e no momento não possui grande valor econômico, sendo assim, além do material ainda não possuir valor de venda, o custo de transporte do material devido à distância é mínimo. Por fim, esta pesquisa busca estudar os benefícios da utilização do agregado de origem da explotação do garimpo da pedra ametista nas propriedades da argamassa através da substituição parcial ou total da areia por resíduos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Utilização de resíduos na argamassa

Segundo Machado e Pinho (2014) uma das maneiras de contornar os problemas enfrentados em relação à insuficiência de locais próprios para a disposição de resíduos e dos custos associados ao seu transporte e aterro consiste no reaproveitamento desses materiais. Nessa perspectiva, uma das formas para reaproveitar tais materiais é a sua utilização em compostos cimentícios.

Sendo assim, surgem estudos como o de Da costa e Silva e Silva (2017) que buscaram utilizar os resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais em argamassa e alcançaram resultados positivos em relação à resistência mecânica. Conforme os autores, ocorreu um aumento de cerca de 15% na resistência à compressão axial e na resistência à tração na flexão. Esse aumento só se verificou em argamassas cuja a substituição não ultrapassou 10%.

Araújo (2014), em sua investigação sobre a utilização de agregados reciclados oriundos de resíduos da construção e demolição em argamassas de revestimento, atingiu seu melhor resultado para 100% de substituição dos agregados naturais pelos reciclados. O autor ressalta ainda que a absorção de água e o índice de vazios foram superiores para as argamassas com 100% de substituição dos agregados naturais pelos reciclados e a retenção de água na argamassa padrão é inferior à das argamassas produzidas com agregados reciclados.

Já os resultados da substituição do agregado natural em compostos argamassados por areia artificial alcançados por Diogenes e Cabral (2017) mostraram melhor trabalhabilidade com o menor consumo de água e um aumento considerável nos valores de resistências mecânicas. Petry (2015) destaca que a utilização de pó de rolagem de ágata em substituição do agregado miúdo de calcário quanto ao desempenho mecânico, apresentou um incremento de resistência à compressão. No âmbito ambiental a substituição é ainda mais favorável, pois permite uma correta destinação aos resíduos e diminui a extração de matérias primas pela construção civil, além de diminuir as emissões de gases do consumo energético e do efeito estufa tendo como condição determinante para a diminuição, o local da produção, devido aos impactos gerados pelo transporte.

Em contrapartida , no estudo de Heineck e Kazmierczak (2015), o uso de agregado reciclado gerou argamassas mais porosas e com índices de vazios superiores ao traço com areia natural, com menor resistência mecânica e módulo de elasticidade dinâmico. Segundo os autores, esses resultados ocorreram devido à forma lamelar e a porosidade dos grãos dos agregados reciclados que resultam em maiores demandas de água e prejudicam a resistência à compressão. Todavia, esta característica morfológica se manifestou de forma positiva na resistência à tração na flexão visto que a forma lamelar permite uma melhor aderência da argamassa com os grãos.

Machado e Pinho (2014) observaram que a utilização de agregados reciclados diminui o módulo de elasticidade e as resistências mecânicas devido, principalmente, a diminuição de compacidade e consequente aumento da porosidade. O

Quadro 1 refere-se a novos materiais que são incorporados como agregados em compostos argamassados, seus teores de substituição e sua eficácia para melhoria das propriedades dos compostos argamassados.

Quadro 1. Desempenho de compostos argamassados com a utilização de novos materiais.

| Autor | Ano | Material | Teores de Substituição | Resultados |
|---|---|---|---|---|
| Alvino; Neto e De Oliveira | (2014) | Resíduos de britagem | 0, 30, 50, 70 e 100% | Satisfatório |
| Marques e Campos | (2012) | Pó de pedra industrial | 100% | Satisfatório |
| Aristimunho e Bertocini | (2012) | Minério de ferro em pó | 20%, 60 100% | Satisfatório |
| Bezerra et al | (2011) | Cinza da casca do arroz | 6, 9, 15, 20 e 30% | Satisfatório |
| Siqueira, Souza e Souza | (2012) | Cinzas de carvão mineral | 0, 10, 20, 30, 40 e 50% | Satisfatório |
| Ferreira et al. | (2015) | Cinza volante | 0, 5, 10 e 15% | Satisfatório |
| Okada | (2013) | Fibra de vidro recicladas | 0, 5, 10, 20 e 50 e 100% | Satisfatório |
| Andrade e Guimarães | (2007) | EVA (ethylene vinyl acetate) | 0, 5, 10 e 15% | Satisfatório |

Bezerra et al (2011) obteve com a adição de cinza de casca de arroz aumento na quantidade de água devido a quantidade de finos , melhor densidade do que a argamassa normal, índice de absorção de água diminui e aumentou a resistência. Siqueira; Souza e Souza (2012) afirma que a substituição do aglomerante por cinza de carvão mineral obteve resultados satisfatórios. Já Ferreira (2015) concluiu que os teores de adição de 10, 15% de cinza volante podem ser utilizados para argamassa de assentamento.

Maques e Campos (2012), através da pesquisa intitulada "Estudo da adição do pó de pedra em argamassas de revestimento e assentamento" concluíram que a adição de pó de pedra na argamassa além de ser uma forma sustentável de aproveitamento desse material, confere maior resistência a argamassa e diminui o consumo de água, logo, aumenta a resistência ,pois argamassas com a utilização de pó de pedra são mais fluidas.

Tais substituições evidenciam cada vez mais a busca de novos materiais para a produção de compostos argamassados. Este fato ocorre devido à escassez de matéria prima que acarreta no aumento do custo do material e a leis que visam a destinação correta dos resíduos e da proteção ao meio ambiente (PETRY, 2015).

### 2.2 Influência dos agregados nas propriedades dos compostos argamassados

No estado fresco, segundo Da Costa (2016) as propriedades dos agregados interferem diretamente no resultado final dos compostos argamassado. O autor cita também a importância de verificar tais propriedades e alterá-las se necessário para evitar problemas futuros. Nesse âmbito, insere-se a granulometria dos agregados que conforme Freitas e Costa (2010) contribui significativamente para melhorar as características dos compostos argamassados através da influência que apresentam no consumo de água e na trabalhabilidade. Desse modo, de acordo com Santos et al (2015), a granulometria de distribuição contínua confere um melhor arranjo dos grãos, sendo assim, menor teor de ar incorporado e maior densidade das argamassas.

Já Camargo e Moreiras (2017) afirmam que agregados finos apresentam menores índices de consistência e baixa trabalhabilidade. Recena (2017) descreve que a trabalhabilidade da argamassa deve ser entendida como a facilidade de dispô-la em sua posição final, sem comprometer o andamento do projeto e os rendimentos. O autor evidencia também, que a trabalhabilidade depende da função que a argamassa irá exercer, isto é, uma mesma argamassa que será utilizada em revestimento ou assentamento deve ter trabalhabilidade distinta em cada caso.

Conforme Oliveira et al (2013), a plasticidade dos compostos argamassados depende da quantidade partículas inferiores a 0,075 mm que contém. O aumento do teor de partículas finas no agregado, segundo o autor, melhora a plasticidade da argamassa e a coesão interna, permitindo que se mantenham as deformações.

Em relação a influência dos agregados no estado endurecido, de acordo com Trevisol (2015) suas propriedades podem ser avaliadas diretamente em corpos de prova e utilizando a argamassa em um substrato. Silva Junior (2014), em seu estudo constatou que o uso de agregados mais leves melhora a aderência devido à redução do peso e consequentemente reduzem as propriedades mecânicas como compressão e tração. Neste viés, conforme Camargo e Moreiras (2017), a variabilidade da granulometria do agregado miúdo influencia diretamente na resistência final dos compostos argamassados.

## 3. RESULTADOS

Para obtenção dos resultados do estudo foi realizada à análise de cinco misturas de argamassas modificando entre elas o agregado miúdo. A relação água/cimento foi fixada em 1,3 para traço volumétrico 1:1:5 (cimento, cal hidratada e agregado volumétrico). Por convenção de nomenclatura, foram utilizados 100% areia natural (R), 70% areia natural (A1), 50% areia natural (A2), 30% areia natural (A3) e 100% pó de rocha ametista (A4). As argamassas foram preparadas em argamassadeira industrial e as amostras moldadas em corpos de prova 40mm x 40mm x 160 mm. Quando necessário, considerando que o agregado artificial é um material poroso, foi utilizado o aditivo incorporador de ar Mortard A2 da Grace Construcion Prodcts ®. Após a produção da argamassa, os corpos de prova foram moldados e desmoldados depois de quarenta e oito horas, com tolerância de mais ou menos vinte e quatro horas. Posteriormente, os materiais foram destinados à um tanque de imersão e ficaram até a realização dos ensaios de resistência. Os materiais utilizados foram caracterizados em ensaios físicos e químicos. A seguir (Tab. 1 e Tab. 2) são apresentados os resultados da caracterização dos materiais.

Tabela 1. Aspectos químicos do cimento, cal hidratada e agregado.

| **Análise Química (%)** | **(%)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Cimento*** | **Cal CH-II**** | **Pó de rocha ametista ***** |
| $SiO^2$ | 18,71 | 4,64 | 46,76 |
| $Al_2O_3$ | 4,26 | - | 13,90 |
| $Fe2O_3$ | 2,95 | - | 17,81 |
| CaO | 60,61 | 41,54 | 9,38 |
| $TiO_2$ | - | - | 3,74 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| MgO | 3,52 | 28,77 | 2,22 |
| $K_2O$ | - | - | 1,29 |
| $P_2O$ | - | - | 2,26 |
| MnO | - | - | 0,25 |
| $SO_3$ | 3,12 | - | - |
| $Na_2O$ | - | - | - |

Fonte: * Cimento (2018); ** Cal (2018); *** COOGAMAI (2015).

Tabela 2. Aspectos físicos dos agregados

| **Propriedades físicas** | | **Retido acumulado (%)** | |
|---|---|---|---|
| | | **Areia Natural*** | **Pó de rocha ametista**** |
| **Diâmetro da malha (mm)** | **9,5** | 0,0 % | 0,0% |
| | **6,3** | 0,0% | 0,0% |
| | **4,75** | 0,1 % | 1,5% |
| | **2,36** | 0,5 % | 7,2% |
| | **1,18** | 5,3% | 27,0% |
| | **0,6** | 33.0% | 44,6% |
| | **0,3** | 86,1 % | 63,0% |
| | **0,15** | 96,4% | 80,9% |
| | **Fundo** | 100,0% | 100,0% |
| **Módulo de Finura** | | 1,63 | 2,24 |
| **Diâmetro máximo (mm)** | | 1,18 | 4,75 |
| **Coeficiente médio de inchamento** | | 2,23 | 1,33 |
| **Umidade crítica (%)** | | 3,2 | 5,4 |
| **Massa específica (Kg/dm³)** | | 2,63 | 2,65 |
| **Massa unitária (Kg/dm³)** | | 1,85 | 1,41 |
| **Teor de material pulverulento (%)** | | - | 19,07 |

Fonte: * Fonte: Autoria Própria (2019); ** COOGAMAI (2015).

De acordo com os resultados verificados na Tab. 2, a areia e o pó de rocha oriundo da explotação de minerais vem a ser classificada como normal. Pois, como afirma Ambrozewicz (2012) , agregados com massa unitária entre 2,000 kg/m³ e 3,000 kg/m³ são classificados como materiais de massa específica normais.

A resistência a compressão simples é um dos principais fatores analisados para estipular o desempenho de compostos cimentícios. A Tabela 3 indica o desempenho em relação a resistência à tração na flexão e a compressão das amostras de argamassas analisados aos 7 e 28 dias. Cabe ressaltar, que as misturas A3 e A4 com a finalidade de atingir o mesmo abatimento em mesa de consistência com valores entre 200 a 280 mm foram remoldadas passando a serem designadas como 2A3 e 2A4 com o acréscimo de 2,5% e 10% de água respectivamente.

Tabela 3. Desempenho das misturas analisadas

| **Mistura** | **Consistência** | **Resistência a compressão** | | **$\Delta_{RM28}$** | **Resistência a tração na Flexão** | | **$\Delta_{RM28}$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Mpa** | | **%** | **Mpa** | | **%** |
| | (mm) | 7 | 28 | | 7 | 28 | |
| **R** | 293 | 16,16 | 22,59 | - | 9,70 | 10,53 | - |
| **A1** | 277 | 18,79 | 22,95 | 1,6 | 8,70 | 10,0 | -5,1 |
| **A2** | 254 | 20,54 | 22,71 | 0,5 | 6,20 | 8,30 | -21,2 |
| **A3** | 223 | 22,71 | 26,17 | 15,9 | 10,60 | 11,87 | 12,7 |
| **2A3** | 252 | 15,73 | 20,26 | -10,3 | 7,47 | 11,87 | 12,7 |
| **A4** | 187 | 16,62 | 20,96 | -7,2 | 7,90 | 16,53 | 57,0 |
| **2A4** | 252 | 14,63 | 18,76 | -16,9 | 7,30 | 14,73 | 39,9 |

Fonte: Autoria Própria (2019).

Ao analisar o comportamento entre os traços moldados, verifica-se que com a substituição total da areia por resíduo de rocha ametista, a resistência reduz aproximadamente 17%. Comportamento semelhante ocorre com os maiores teores de substituição, com exceção do traço A3 que obteve um aumento de aproximadamente 16% em relação ao traço referência, todavia, não obteve o índice de consistência estipulado pela normativa. Observa-se também, que os

resultados não são lineares e os traços com a utilização dos resíduos tendem a reduzir os valores em relação ao traço referência. Fato esse observado na Tab.3, ao relacionar a resistência à compressão com os teores de substituição da areia por pó de rocha.

Neste mesmo viés, com a análise da resistência a tração na flexão, verifica-se um aumento de resistência de cerca de 40% nos maiores teores de substituição aos 28 dias. Observa-se que os resultados não são lineares e os traços com a utilização dos resíduos tendem a reduzir os valores em relação ao traço referência. Fato esse observado na Fig. 1, a qual relaciona a resistência à compressão com os teores de substituição da areia por pó de rocha. É valido ressaltar que os gráficos se referem aos traços R, A1, A2, 2A3 e 2A4.

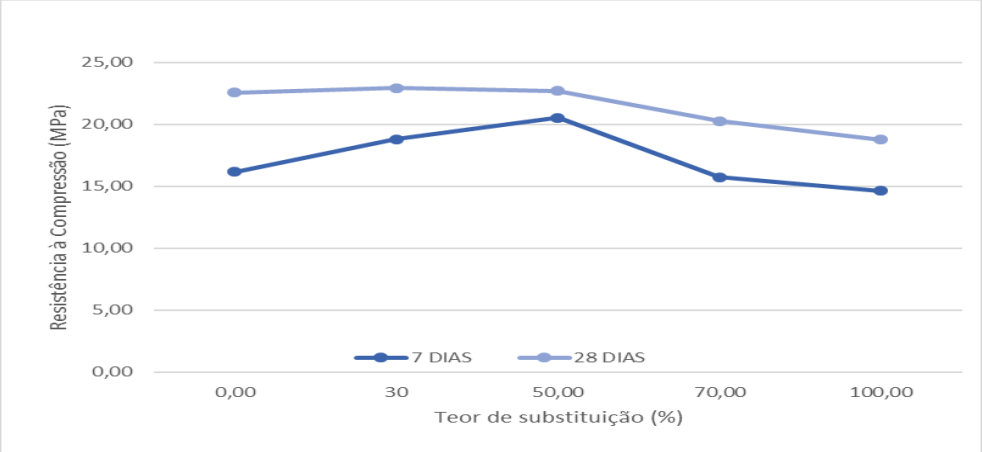



Figura 1. Comparação entre a resistência à compressão e o teor de substituição do resíduo.
Fonte: Autoria Própria (2019).

E neste mesmo viés, em relação a resistência a tração na flexão, verifica-se um aumento de resistência de cerca de 40% nos maiores teores de substituição aos 28 dias. Relação essa que pode ser verificada na Fig. 2.

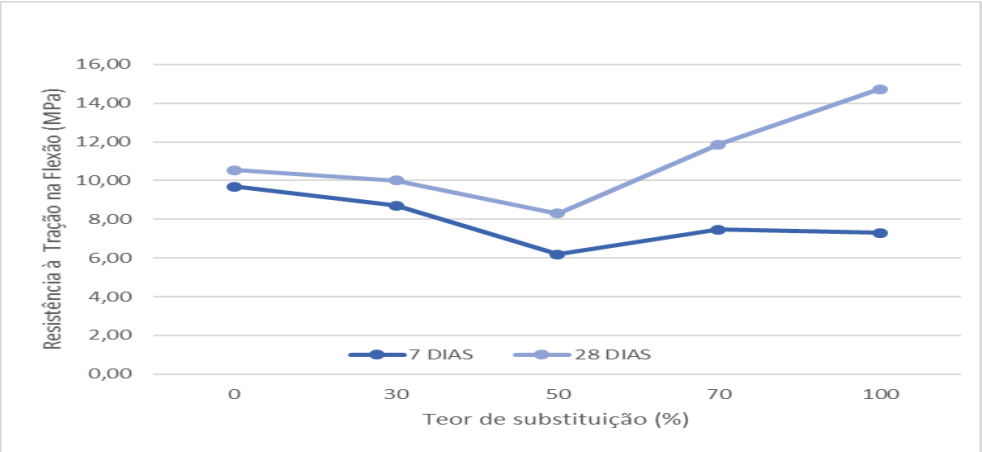



Figura 2. Comparação entre a resistência à tração na flexão e o teor de substituição do resíduo.
Fonte: Autoria Própria (2019).

Nessa perspectiva, em alguns estudos com a substituição da areia por outros agregados na argamassa esse comportamento também se verifica, a exemplo do estudo de Heineck e Kazmierczak (2015), no qual o uso de agregado reciclado gerou argamassas com menor resistência à compressão. Já em relação a resistência à tração na flexão os resultados mostraram-se positivos. Machado e Pinho (2014) também observaram que a utilização de agregados reciclados diminui as resistências mecânicas. Os autores aliam esse fato a diminuição de compacidade e consequente aumento da porosidade.

Em contrapartida, apesar dos valores de resistência terem diminuído em comparação ao traço referência, os valores de resistência obtidos estão de acordo com NBR 13279 (2005). A qual, estabelece que para a classe P6, as resistências à compressão devem ser superiores a 8 MPa e para a classe R6 as resistências à tração na flexão sejam maiores que 3,5 MPa, o que ocorre em todas as moldagens propostas. A Figura 3 compara a consistência da argamassa com o teor de substituição de pó de rocha.

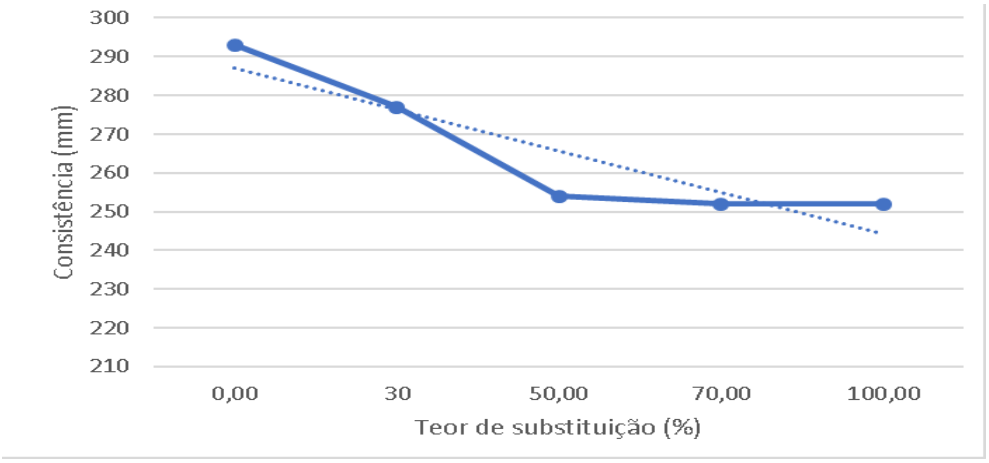



Figura 3. Comparação entre o Índice de consistência e o teor de substituição.
Fonte: Autoria Própria (2019).

De acordo com os índices de consistência obtidos (Fig. 3), é possível verificar que quanto menor o espalhamento pressupõe-se que a argamassa é mais difícil de deformar. Através dos resultados é possível constatar também que a substituição de areia por pó de rocha diminui o índice de consistência, isto é, o índice de consistência reduz a medida em que aumenta o teor de resíduo.

Na conformidade dos dados examinados a utilização desse material em relação ao índice de consistência demonstrou que argamassas com substituição do resíduo de pó de rocha ametista são mais difíceis de deformar, isto é, o índice de consistência diminuiu a medida em que a quantidade do resíduo aumentou. Já em relação as resistências, foi possível observar que os traços com substituição de pó de rocha, em sua maioria, se mostraram mais resistentes do que a argamassa referência.

Os resultados como um todo indicam que com os devidos cuidados e conhecimento do material, as argamassas produzidas com resíduos de minerais ametista apresentam bom desempenho na substituição do agregado miudo, de forma que o mesmo tem capacidade e características necessárias para a sua produção e comercialização em escala industrial na região, trazendo inúmeros benefícios da retirada do material de disposição incorreta.Sobretudo, espera-se que os resultados encontrados possam auxiliar para o desenvolvimento de novos estudos e técnicas que venham a contribuir tanto no âmbito econômico como ambiental com a região do Médio Alto Uruguai.

## 3. REFERENCIAS

Alvino, F. C. G; Neto, J. P. L.; De Oliveira, F. S. Avaliação de argamassas com incorporação de resíduos de britagem para construções rurais. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 13, n. 1, p. 23-29, 2014.

Araújo, N. N. DE. Desempenho de argamassas de revestimentos produzidas com agregados reciclados oriundos do resíduo de construção e demolição da Grande Natal-RN. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

Aristimunho, P.; Bertocini, S. Application of iron ore mud in powder form in portland cement presence. Rev. IBRACON Estrut. Mater. [online]. vol.5, n.2, pp.153-165. 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, 2005.

Bezerra, I. M. T., et al. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 15, no. 6, 2011.

Camargo, D. J.; Moreiras, S. T. F. Estudo da influência granulométrica do agregado miúdo para uso em argamassas de revestimento. Universidade Estadual de Maringá, Umuarama – PR, 2017.

Da Costa, I. Estudo comparativo entre as argamassas de revestimento externo: Preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada dosada em central. Centro Universitário UNIVATES, Lajeado - RS. 2016.

Da Costa e Silva, A. J.; Silva, C. J. V. Aplicação de resíduos de pedras ornamentais na produção de argamassas, XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. São Paulo, 2017.

Diogenes, A. G.; Cabral, A. E. B. Estudo do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da região metropolitana de Fortaleza. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

Ferreira, K. C. et al. Estudo de parâmetros físico-químicos para a produção de argamassas utilizando resíduos industriais e da construção civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém – PA, 2014.

Guimarães, C. C.; Andrade, É. S. Propriedades de argamassas com eva (ethylene vinyl acetate) em substituição parcial ao agregado. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n. 1, 13 mar. 2007.

Heineck, S.; Kazmierczak, C. D. S. Argamassas de revestimento com incorporação de agregado miúdo da britagem de concreto. 2015.

Machado, S. F. A.; Pinho, F. F. DA S. Influência de agregados provenientes de rcd e cinzas volantes não-conformes no desempenho de argamassas de cimento. p. 200, 2014.

Marques, M. L.; Campos, K. Estudo da adição do pó de pedra em argamassas de revestimento e assentamento. Pindorama-Revista Eletrônica Científica do IFBA (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia) v, v. 3, p. 150–164, 2012

Moitinho, B. L. R.; Leite, M. B. Estudo da Produção de Concretos Reciclados Utilizando Agregados de Argamassa. ENCONTRO NACIONAL SOBRE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, v. 4, 2015.

Okada, E. M et al. Produção de argamassa aditivada com resíduo de fibra de vidro pós – processada. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza – CE, 2013.

Oliveira, R.; De Brito, J.; Veiga, R. Incorporação de agregados finos de vidro em argamassas Incorporation of fine glass aggregates in renderings. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 21, p. 25-39, 2013.

Petry, N. S. Uso de resíduos de ágata como agregado em argamassas de cimento Portland branco. 2015. Dissertação (mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Recena, F. A. P. Conhecendo Argamassa. EDIPUCRS, 1 ed, Porto Alegre - RS. 2017.

Silva Junior, F. A.da. Avaliação do efeito da adição de resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formulação de compósitos cimentíceos. 2014. 184 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

Siqueira, J. S.; Souza, C. A. G.; Souza, J. A. S. Reuse of ash coal in the formulation of mortars. Cerâmica, v. 58, n. 346, p. 275–279, jun. 2012.

Trevisol, L. A. Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2015.

Valverde, F. M. Agregados para construção civil. Balanço mineral brasileiro, 2001.

## 4. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EFEITO DO USO DO RESÍDUO DE ROCHA AMETISTA NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DIAMETRAL E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL EM CONCRETOS

**Fernanda De Marco**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
fernanda_demarco@hotmail.com

**William Widmar Cadore**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
william@uri.edu.br

**Larissa Dalpiva Riboli**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
larissariboli99@gmail.com

**Vanessa Inês Urnau**
URI – Câmpus de Frederico Westphalen – Rua Assis Brasil, 709, Bairro Itapagé, Frederico Westphalen – RS - 98.400-000
vanessa_99_urnau@hotmail.com

**Tuani Zat**
Universidade Federal de Santa Maria. – RS - 97010-001
tuanizat@hotmail.com

***Resumo:*** *Sob a ótica do consumo consciente, surgem alternativas que envolvem a utilização de novos materiais no concreto. Enquadra-se nessa seara, a região norte do Rio Grande do Sul, a qual possui considerável influência econômica e social do setor mineralógico e gera, como resultado dessa exploração, grande quantidade de resíduos. Posto isso, buscou-se substituir 100% do agregado graúdo por resíduo basáltico proveniente da exploração da pedra ametista em concretos, com relações água/cimento de 0,4 e 0,6, mantendo um concreto como referência. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial nas idades de 3, 7, 28, 91, 182 e 364 dias, e a resistência à tração diametral a 91, 182, 364 e 728 dias. Nesse âmbito, os concretos produzidos com adição de resíduos obtiveram resultados de resistência à compressão axial e resistência à tração diametral menores que os traços referência. No entanto, todos os traços ultrapassaram a resistência de 25 MPa aos 28 dias. Desse modo, os resultados como um todo indicam que com os devidos cuidados e conhecimento do material, os concretos produzidos com resíduos apresentam bom desempenho e ainda propiciam efeitos ambientais, sociais e econômicos positivos para a região.*

***Palavras chave:*** *Concretos, Resíduos industriais, Desenvolvimento social.*

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais causado pela manutenção e aumento do padrão de vida, têm levado à busca por alternativas de crescimento mais sustentáveis, por parte de todos os segmentos da sociedade. Dentro desta corrida pelo bem estar ambiental, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo mundo, e na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima que têm demandado quantidades cada vez mais altas, na ordem de 10 ton./hab/ano, podendo chegar até a 80 ton./hab/ano em algumas sociedades mais avançadas (AGOPYAN & JOHN, 2011).

Segundo Agopyan (2014), a construção civil é responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta sendo rejeitado anualmente, cerca de 500 kg de entulho por pessoa, equivalentes 3,6 bilhões de toneladas, fazendo deste segmento industrial o mais poluente do planeta. Esta alta demanda por agregados naturais surge do alto consumo de concreto que segundo Pedroso (2009) é o segundo material mais consumido no mundo, chegando a uma média 1,9 tonelada por habitante por ano, valor esse que só perde para a água em questões de consumo.

Frente a esse contexto, em busca de uma forma alternativa para a redução dos impactos ambientais, encontram-se os resíduos industriais utilizados no concreto na construção civil. Nessa perspectiva, o município de Ametista do Sul é conhecido devido à extração de pedras preciosas, especificamente a pedra ametista e a ágata e sua explotação acarreta na geração desses resíduos. A explotação das pedras preciosas é realizada através de galerias horizontais abertas nos morros que compõem o relevo típico da Serra Geral (RETORE, 2005). A extração e obtenção dos minérios é um processo constante, que gera uma grande quantidade de rejeitos, que até o momento não são manejados de maneira correta, e acabam sendo depositados nos sopés das encostas e em morros da região.

Atualmente toda a região está envolvida com o garimpo, a economia do município de Ametista do Sul se baseia no extrativismo mineral, o qual chega a representar 75% da fonte de renda da região e as indústrias do município são, em sua maioria, as de beneficiamento de pedras preciosas (PLANO MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO, 2015). Conforme Juchem (2014) há cerca de 500 garimpos ativos e inativos na região, concentrados principalmente nos municípios de Ametista do Sul, Frederico Westphalen, Iraí e Planalto. A Cooperativa de Garimpeiros do Médio Uruguai Ltda - COGAMAI (2018), estima que são gerados 42.600 m³ de resíduos na região ao mês. Neste âmbito havendo uma dependência econômica da atividade que movimenta toda uma cadeia produtiva há a necessidade de perspectivas ambientalmente corretas para a destinação destes resíduos. Visto assim, a oportunidade de utilizar os rejeitos produzidos pela extração de ametista como agregado graúdo na produção de concreto torna-se uma alternativa viável devido à sua origem basáltica e quimicamente inerte.

Como forma de averiguar a possibilidade do uso do resíduo na produção de concreto, foram realizados os ensaios de resistência, que possuem relevância para a análise das propriedades do concreto quando este for sujeito a solicitações na estrutura durante a sua utilização. Posto isto, o presente estudo abordará os ensaios de resistência à compressão axial e a resistência à tração diametral em concretos produzidos com resíduo da extração de rocha ametista, comparando com o convencional como um parâmetro de desempenho, visando estudar os benefícios da utilização dos rejeitos do garimpo da pedra ametista, para trazer maior conhecimento no campo técnico através do incremento das propriedades do concreto, como o aumento do desempenho das estruturas durante sua vida útil.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Há definições conceituais estabelecidas em normas que abordam e dão significado aos termos durabilidade, resistência e vida útil do concreto. De acordo com a NBR 6118 (2014), as estruturas devem ser construídas de maneira a manter a segurança, estabilidade e serviço correspondente ao seu tempo de uso ou vida útil, desta forma são realizados inúmeros ensaios, por meio dos quais são obtidos dados pertinentes à garantia dos parâmetros estabelecidos.

Segundo Mehta e Monteiro (2014, p. 51) "a resistência de um material é definida como a capacidade de resistir a tensão sem se romper. Algumas vezes a ruptura é identificada com o surgimento de fissuras.". No entanto, a resistência pode ser influenciada por diversos fatores, tais como descontinuidades, falhas, porosidade e a microfissuração, sendo que a mesma pode ocorrer antes mesmo do concreto ter forças aplicadas sobre si. Contudo, valores como a quantidade de vazios da mistura são difíceis de serem quantificados, por isso recorre-se a outros fatores, a partir dos quais podemos obter mais facilmente a sua influência sobre a resistência do concreto.

### 2.1 Resistência à compressão axial

Utiliza-se o ensaio de compressão axial para atender a necessidade de medição da resistência do concreto e outros materiais, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. A resistência à compressão axial normalmente é considerada o fator mais importante quando se fala em concreto, e apesar de existirem muitos outros fatores com a mesma relevância, a resistência está diretamente ligada à microestrutura do concreto e, portanto, influência de forma significativa o seu desempenho e a sua durabilidade, a resistência normalmente dá uma ideia geral da qualidade do concreto, por estar diretamente ligada a estrutura da pasta de cimento (NEVILLE E BROOKS, 2013).

A resistência à compressão do concreto é definida por Carvalho e Filho (2015, p. 33) como uma característica mecânica de interesse juntamente com a resistência à tração do concreto endurecido. De acordo com Mehta e Monteiro (2014, p. 239) o endurecimento, dentre outros fatores, é o fenômeno de ganho de resistência com o tempo.

"Considera-se que a resistência do concreto em uma determinada idade e submetido à cura úmida a uma temperatura especificada depende principalmente apenas de dois fatores: a relação água/cimento e o grau de adensamento. " (NEVILLE, 2016, p. 285). Essa relação entre a resistência do concreto e a relação água/cimento (Fig. 1) ocorre em proporções inversas, quanto maior a relação água/cimento, menor a resistência do material. Fator esse que é influenciado pela porosidade do concreto, sendo que esta também pode atribuída pelo método e qualidade de adensamento da peça. Ainda de acordo com o autor, as principais informações sobre a resistência do concreto, justamente pela facilidade de obtenção, são a idade, relação água/cimento, grau de adensamento e a temperatura. Há também fatores considerados de importância secundária, como a relação agregado/cimento, a qualidade do agregado, dimensão máxima do mesmo e a zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento.

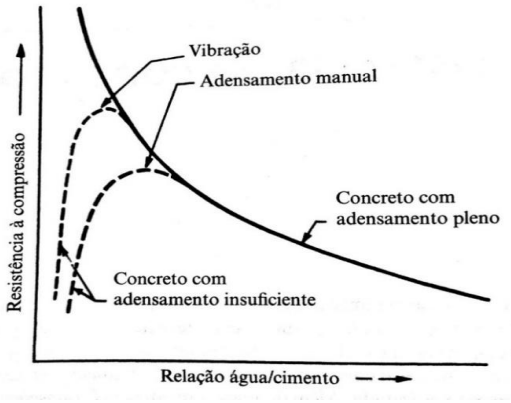



Figura 1. Relação entre resistência, relação água/cimento e o adensamento do concreto
Fonte: Neville (2016)

A Fig. 1 demonstra a forma como a relação a/c e o adensamento influenciam a resistência à compressão do concreto de formas distintas. É possível verificar também, que concretos com relação a/c muito baixas podem não atingir boas resistências devido a impossibilidade de haver um adensamento pleno do material, aumentando, portanto, as falhas da estrutura.

O ensaio de resistência à compressão axial (Fig. 2), popularmente utilizado por projetistas como parâmetro de analise em de compostos cimentícios, mede a resistência à compressão do concreto. Sua ampla utilização ocorre devido ao concreto ser mais resistente à compressão do que a outros tipos de esforços, como a tração e flexão por exemplo. Sendo assim, a realização deste ensaio aos 28 dias tornou-se universal.



Figura 2. Ensaio de resistência à compressão axial.
Fonte: Autoria Própria (2018)

## 2.2 Resistência à tração diametral

O ensaio à tração por compressão diametral é de fácil realização, neste ensaio um corpo de prova de forma cilíndrica é posicionado em uma máquina de ensaio com seu eixo horizontal entre seu prato (Fig. 3), a carga é aumentada até ocorrer a ruptura na forma de fendimento ao longo do diâmetro vertical causada pela tração indireta. Os resultados apresentam valores mais uniformes do que os demais ensaios à tração. A resistência obtida nesse ensaio é considerada mais próxima à resistência à tração direta do concreto, sendo de 5 a 12% mais alta (NEVILLE, 2016).

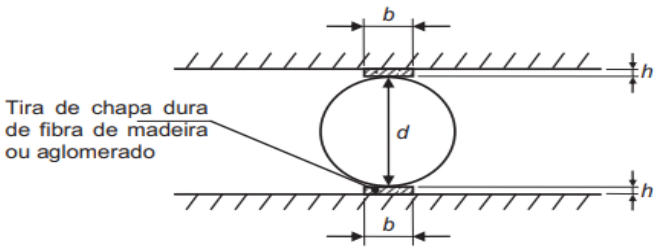



Figura 3. Disposição do corpo de prova para o ensaio de resistência à tração diametral.
Fonte: NBR 7222 (2011)

## 3. METODOLOGIA

Para a produção dos corpos de prova de concreto a serem ensaiados, foram empregados dois tipos de misturas, em massa, com duas relações água/cimento (a/c), resultando em quatro padrões de amostra. Um dos tipos de misturas foi considerada a amostra de referência, recebendo a nomenclatura RE4 a que contou com as relações a/c de 0,4 e RE6 a com relação a/c 0,6. A outra amostra a ser comparada, teve a pedra de origem de resíduo da explotação da pedra ametista como substituição do agregado graúdo, também nas relações a/c de 0,4 e 0,6 recebendo a nomenclatura RR4 e RR6, respectivamente.Para os ensaios de resistência à compressão axial foram adotadas as idades de 3, 7, 28, 91, 182 e 364 dias, e de 91, 182 e 364 e 728 dias para o ensaio de tração na compressão diametral (spliting test) conforme a ABNT NBR 7222:2011. Embora a substituição dos agregados graúdos seja em 100%, o consumo é diferente, pois possuem massa específica distintas. Os materiais utilizados estão descritos na Tab. 1.

Tabela 1. Materiais utilizados na moldagem dos concretos.

| | |
|---|---|
| Cimento Portland | CPV ARI |
| Areia natural | Dmáx = 4,8 mm |
| Rocha britada de rocha diabásica | Dmáx = 19 mm |
| Rocha de origem residual do garimpo britada | Dmáx = 19 mm |

Fonte: Autoria Própria (2019).

Após produzidos os concretos, moldados em moldes cilíndricos 10cmx20cm, e desmoldados depois de 24 horas, os corpos de prova foram destinados à um tanque de imersão e permaneceram até que o concreto atingisse as datas estipuladas para os ensaios.

## 4. RESULTADOS

Os resultados de caracterização física dos agregados a serem utilizados podem ser verificados na Tab. 2, onde, para a areia foram realizados ensaios de módulo de finura, massa específica, massa unitária, coeficiente de inchamento médio e umidade crítica. Para as duas variedades de agregado graúdo, brita comercial e resíduo de garimpo, foram realizados os ensaios de absorção de água, índice de forma, módulo de finura, granulometria, massa específica e massa unitária.

Tabela 2. Caracterização física dos agregados

| **Ensaios Realizados** | **Norma Regulamentadora** | **Areia** | **Brita** | **Brita Ametista** |
|---|---|---|---|---|
| Absorção de Água (%) | NBR NM 53/2009 | - | 0,38 | 4,72 |
| Índice de Forma (B/A – C/B) | NBR 7809/2006 | - | 0,55 – 0,69 | 0,69 – 0,51 |
| Módulo de Finura | NBR 7217/87 | 1,63 | 6,81 | 6,97 |
| Diâmetro máximo (mm) | NBR 7217/87 | 1,18 | 19 | 19 |
| Massa específica (kg/dm3) | NBR NM 53/2009; NBR NM 52/2003 | 2,63 | 2,94 | 2,66 |
| Massa unitária - estados solto (kg/dm3) | NBR NM 45/2006 | 1,85 | 1,53 | 1,38 |
| Abrasão de Los Angeles (%) | NBR NM 51:2001 | - | 16,36 | NR |
| Coeficiente inchamento médio | NBR 6467/2006 | 2,23 | - | - |
| Umidade crítica (%) | NBR 6467/2006 | 3,2 | - | - |

Fonte: Autoria Própria (2019).

A Cooperativa de Garimpeiros do Médio e Alto Uruguai - COOGAMAI, tendo em vista seu papel na mineração da região, analisou as amostras de resíduos coletadas em diferentes locais e sob diferentes condições de beneficiamento conforme pode ser verificado na Tab. 3. É valido ressaltar que essa análise não pode ser adotada como um padrão definitivo, pois a composição química altera de galeria para galeria, conforme a exposição a intempéries e de onde foi retirada, mais próxima ou não do geodo. As seis amostras de basalto foram coletadas na Britec Britas Ltda - ME, empresa localizada no município de Ametista do Sul que trabalha com o britamento de rochas.

Tabela 3: Análise química do resíduo de pedra ametista

| **Elementos químicos (%)** | **Amostra 01** | **Amostra 02** | **Amostra 03** | **Amostra 04** | **Amostra 05** | **Amostra 06** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rocha retirada de dentro do garimpo, próximo ao geodo | Rocha retirada de dentro do garimpo | Pedra rachão | Rocha retirada de um depósito ao ar livre (+ ou – 8 anos) | Brita nº 1 feita com pedras retiradas do garimpo e logo beneficiadas | Pó de rocha |
| Silício (SiO2) | 48,8 | 47,43 | 48,61 | 51,03 | 48,36 | 46,76 |
| Alumínio(Al2O3) | 14,64 | 13,53 | 16,02 | 15,52 | 12,02 | 13,90 |
| Ferro (Fe2O3) | 16,85 | 16,24 | 15,06 | 14,39 | 18,73 | 17,81 |
| Cálcio (CaO) | 8,48 | 10,77 | 9,40 | 7,73 | 7,80 | 9,38 |
| Titânio (TiO2) | 3,64 | 3,63 | 3,61 | 3,58 | 2,72 | 3,74 |
| Mágnésio (MgO) | 4,28 | 3,01 | 3,27 | 2,44 | 6,88 | 2,22 |
| Potássio (K2O) | 2,10 | 2,63 | 1,37 | 2,17 | 1,12 | 1,29 |
| Fósforo (P2O5) | 0,74 | 0,65 | 0,84 | 0,78 | 0,55 | 2,26 |
| Manganês (MnO) | 0,23 | 0,20 | 0,23 | 0,20 | 0,28 | 0,25 |

Fonte: COOGAMAI (2019).

O ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump test) preconizado pela NBR NM 67/1998 pode ser observado na Tab. 4.

Tabela 4: Abatimento dos traços

| Traço | RE4 | | | RR4 | | | RE6 | | | RR6 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amostragem | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª |
| Abatimento (cm) | 17 | 13 | 11 | 3 | 5 | 5 | 22 | 22 | 20 | 14 | 14 | 11 |

Fonte: Autoria Própria (2019).

Verifica-se (Tab. 4) que o alto índice de absorção dos resíduos influenciou na trabalhabilidade do concreto produzido, visto que os traços com adição se apresentaram consideravelmente mais consistentes que os produzidos com brita. Por consequente, realizou-se a medição da temperatura do concreto, sendo descartados os traços inferiores a 15ºC, pois a resistência inicial pode ser afetada. Os resultados da medição das temperaturas estão descritos na Tab. 5.

Tabela 5: Temperatura das moldagens

| Temperatura em ºC | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ambiente | 16 | 16 | 15 | 15 | 16 | 15 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Ambiente da água | 16 | 16 | 16 | 11 | 12 | 13 | 16 | 16 | 16 | 18 | 18 | 18 |
| Água mista | 24 | 22 | 24 | 24 | 26 | 28 | 26 | 20 | 24 | 21 | 24 | 25 |
| Concreto | 17,5 | 17 | 17 | 16 | 16 | 15 | 19 | 18 | 19 | 19 | 19 | 19 |

Fonte: Autoria Própria (2019).

Como pode ser observado na Tab. 5, todas as moldagens estão com temperaturas adequadas. Nessa perspectiva, foi possível realizar os ensaios no estado endurecido dos traços em análise no estudo. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial obtidos para os traços que são aqui objetos de estudo estão apresentados a seguir na Fig. 4.

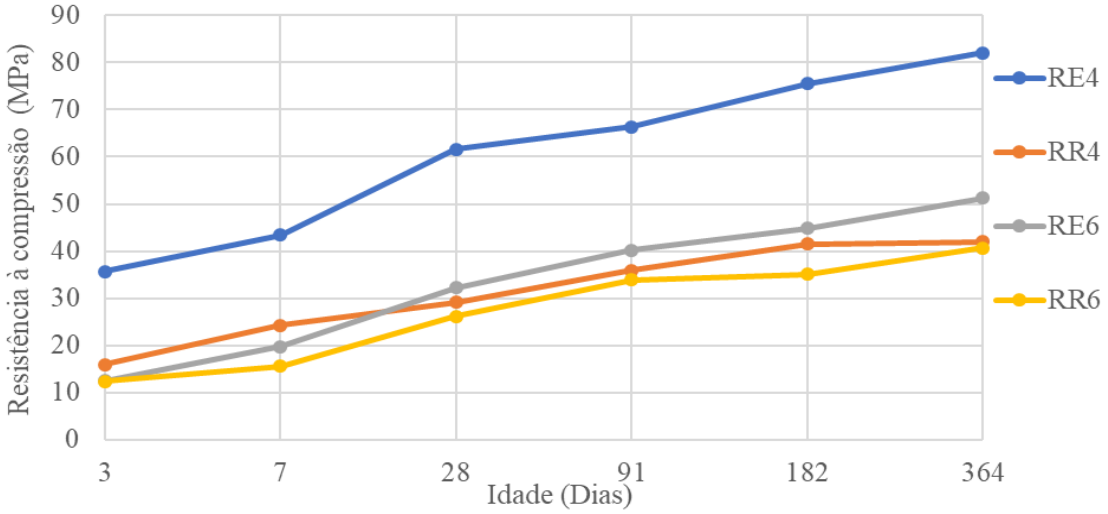



Figura 4. Gráfico dos resultados do ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Autoria Própria (2019).

A NBR 6118 (2014) estabelece que para utilização estrutural o concreto deve atingir, aos vinte e oito dias, a resistência mínima de 20 MPa, em análise aos dados apresentados na figura 2 é possível notar que todos os concretos ultrapassam os 25 MPa, resultados estes que atendem satisfatoriamente a norma. Aos 91 dias é possível verificar que os concretos de referência (RE) apresentam dispersão na proporção de incremento das resistências. Para as amostras com resíduo (RR) as resistências analisadas aos 91 dias comparadas ao traço referência (RE) apresentaram dispersão de até 45%, esse valor foi verificado no traço a/c de 0,4. Já o traço com a/c de 0,6 essa diferença foi menor, se tratando de apenas 15% de perda em relação aos traços referência (RE). Esse comportamento foi observado em moldagens com maior quantidade de água empregada, no qual o traço com resíduos reagiu de forma mais próxima ao comportamento do traço referência.

Na comparação entre 28 dias e 182, para os traços RE a média do incremento de resistências tem valores em torno de 22 a 39% para a/c de 0,4 e de 0,6 respectivamente. Ao analisar os traços RR o incremento chegou a ser de 42 e 34%. Aos 364 dias, no entanto, o incremento ou perda de resistência se apresenta muito menos acentuado, aumentando aproximadamente 8 a 15%, com exceção do traço RR4 que aumentou apenas 1%, o que afirma a teoria de que após algum tempo o aumento de resistência vai se estabilizando devido ao término das reações de hidratação do cimento. Comparando os traços referência e os traços com adição de brita ametista nas últimas idades obtém-se porcentagens de incremento de resistência muito próximos, cerca de 9,5% e 8% respectivamente.

Por meio do ensaio de resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos executado segundo a NBR 7222:2011 preconiza obter os valores das cargas para posteriormente aplica-los nas equações a fim de determinar os valores de resistência à tração diametral calculados. Os resultados podem ser verificados na Fig. 5.

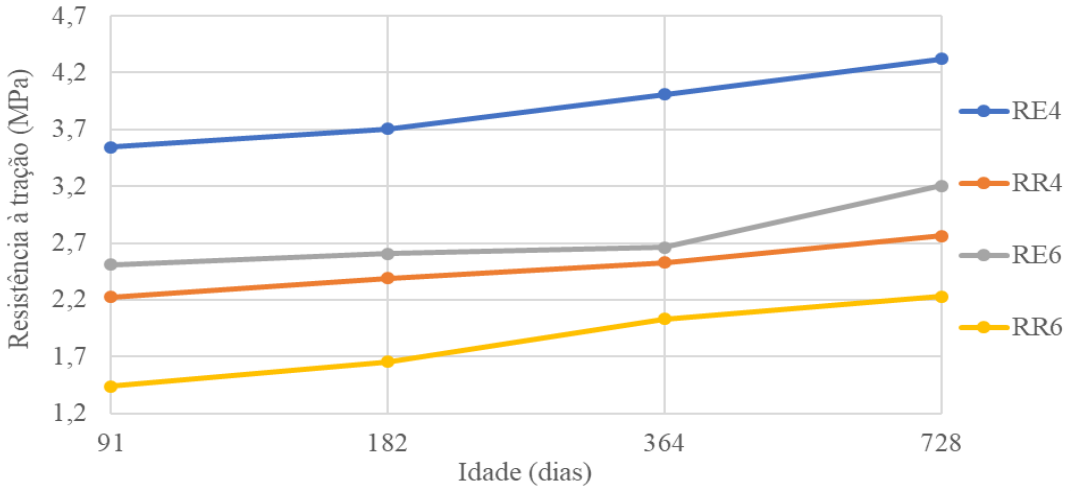



Figura 5: Gráfico dos resultados do ensaio de tração na compressão diametral.
Fonte: Autoria Própria (2019).

Com o ensaio de resistência à tração diametral, averiguou-se uma maior resistência para o traço RE4. Ao analisar as amostras no período de 91 dias a moldagem RR4 apresentou valor 37% menor de resistência a tração na compressão diametral em relação ao traço RE4, para o mesmo comparativo o traço RR6 apresentou valor 42% inferior ao comparar com o traço RE6. Com a mesma analise ao fim do período de 728 dias, a diferença entre os traços RE4 e RR4 é de 36%, e para o traço RE6 e RR6 é de 30%. A partir disso é possível verificar que comportamento no incremento ou perda de resistência se apresenta bem próximo em ambos os casos. É possível verificar também, menores valores de tensão de tração nas moldagens com resíduos.

## 4. CONCLUSÃO

O estudo de desempenho em concretos com utilização de resíduos de minerais ametista são indispensáveis para viabilizar a sua utilização em escala industrial. Partindo dessa premissa, concluiu-se que os concretos produzidos com adição dos resíduos, possuem resultados de resistência à compressão axial coerentes ao serem comparados, mesmo que os valores de resistência apresentados nesse estudo se mostraram menores que os traços referências. Fato esse evidenciado no traço RR6 o qual, aos 28 dias, apresenta resistência superior à 25 MPa, valor que é muito comum em projetos. Ao analisar o mesmo traço, nas idades de 182 e 364 dias atingiu-se as resistências de 35 e 40 MPa, respectivamente. Em relação ao ensaio de tração à compressão diametral, os traços moldados com resíduos apresentaram os mesmos comportamentos do ensaio a compressão, e os valores de resistência dos traços moldados com resíduo da exploração da pedra ametista foram menores que os traços referenciais.

Portanto, os concretos produzidos com rejeito de pedra ametista tem capacidade e características necessárias para a sua produção e comercialização em escala industrial na região, pois apresentam bom desempenho na substituição do agregado graúdo, trazendo assim inúmeros efeitos positivos, que vão desde a retirada do material de disposição incorreta, reduzindo os impactos ambientais causados pela mineração, até a movimentação do setor econômico da região.

## 5. REFERÊNCIAS

Agopyan, V., John, V. M. O desafio da sustentabilidade na Construção Civil. São Paulo Blucher, 2011 (Série Sustentabilidade, 5).

Associação Brasileira de Normas Técnicas: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento - NBR 61118/2014, Rio De Janeiro. RJ, 2014.

_____: Cimento Portland – Determinação da Resistência a Compressão - NBR 7215/91. Rio De Janeiro, RJ, 1991.

_____: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos - NBR 7222:2011, Rio De Janeiro. RJ, 2011.

Carvalho, R. C.; Filho, J. R. de F. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. 4 ed. São Carlos: EDUFSCar, 2015

Juchem, P. L. Materiais gemológicos do RS: Técnicas instrumentais não destrutivas aplicadas a gemas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IGeo/UFRGS, 2014.

Mehta, P. K; Monteiro, P. J. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. Ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

Neville, A. M.; Brooks, J.J. Tecnologia do Concreto. 2 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

Neville, A. M. Propriedades do Concreto. 5 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

Pedroso, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material Construtivo mais usado pelo homem. Revista Concreto e Construções – IBRACON, n.53, p. 14-19, 2009.

Plano Municipal de Educação, Ametista do Sul – RS, 2015. 28 ago. 2019 <http://www.ufrgs.br/monitoramentopne/planos-municipais-de-educacao-rs/a/ametista-do-sul>

Retore, T. S. Comportamento Mecânico de Agregados de Basaltos para Pavimentação. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores se responsabilizam pelas informações impressas neste documento.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS: UMA ANÁLISE TEÓRICA SOBRE O USO DA TECNOLOGIA BIM

**Fernanda Andressa Gauer, Tainara Conte, Vanessa Tibola da Rocha, Alana Saccomori Giesel, Helen Balestrin Bez, Raiane Luiza Balestrin Bez**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (Erechim), RS 331, nº 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
gauerfg@gmail.com, taai_conte@hotmail.com, vanessarocha@uricer.edu.br, alanagiesel@gmail.com, helenbalestrin@hotmail.com, raianebbez@gmail.com

***Resumo:*** *A construção civil, por meio de processos construtivos ineficientes gera desperdícios, custos desnecessários, além do retrabalho, o que é ocasionado na maioria das vezes pela má gestão e falta de compatibilização projetual. Com isso, é evidente a carência de um sistema eficiente de projetos e gerenciamento de processos, desde o período projetual até o final da obra, compatibilizando-os. Assim, o objetivo deste artigo é analisar o uso da tecnologia BIM - Building Information Modeling na compatibilização de projetos, identificando pontos benéficos e dificuldades quanto à sua aplicação. A metodologia do artigo é de caráter descritivo, baseado na análise de dados secundários. Os resultados evidenciam que, é de extrema importância a utilização da tecnologia BIM, juntamente com a atualização dos profissionais das diferentes áreas para o sucesso do andamento de qualquer obra. Por fim, a tecnologia BIM oferece maiores benefícios se comparada as suas limitações, uma vez que, há maior vantagem com o melhor uso da mesma tanto para profissionais quanto para o ''mercado'' da construção civil e o meio ambiente.*

***Palavras chave:*** *BIM - Building Information Modeling, construção civil, projetos.*

***Abstract:*** *Construction, through inefficient construction processes, generates waste, unnecessary costs, and rework, or that is most often caused by poor management and lack of design compatibility. Thus, the lack of an efficient system of projects and process management is evident, from the project period until the end of the work, making them compatible. Thus, the aim of this paper is to analyze the use of BIM - Building Information Modeling technology in project compatibility, identifying beneficial points and difficulties regarding its application. The methodology of the article is descriptive, based on the analysis of secondary data. The results show that the use of BIM technology is extremely important, including the updating of professionals from different areas for the success of the progress of any work. Finally, a BIM technology offers greater benefits compared to its constraints since there is a greater advantage with its better use for professionals in the construction and environment.*

***Keywords:*** *BIM - Building Information Modeling, construction, projects.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na construção civil é de suma importância que desde a fase inicial de projeto até o final do mesmo ocorra um planejamento de projeto/obra, seja ela simples ou complexa. Pois, assim, é possível evitar o desperdício e retrabalho. Para uma obra ter um bom resultado são elaborados diversos projetos, tais como: arquitetônico, estrutural, elétrico, hidráulico, entre outros, e para isso o que vem sendo feito, ainda com pouca frequência é a compatibilização de projetos (Monteiro et al., 2017).

Deste modo, a participação de diversos projetistas (que muitas vezes trabalham de forma isolada) em função dos projetos de composição de uma obra, conforme citado anteriormente, aumentam acentuadamente a probabilidade de interferências durante a fase executiva da construção. Como solução, geralmente realiza-se um estudo do caso de forma simplificada, porém pode não ser a solução mais adequada. Por isso, a prática do uso da compatibilização de projeto, baseada nas interferências físicas na edificação entre as várias especialidades é de suma importância para qualquer construção, segundo afirmações de Monteiro et al. (2017).

Também, os autores Ruschel et al. (2013) afirmam que, o mercado da construção civil exige cada dia mais a qualidade final das edificações entregues, assim como a redução de custos. Por isso, custos com retrabalho e atrasos resultantes da não compatibilização de projetos, já não podem mais ser aceitos. Desta forma, uma alternativa para redução de possíveis erros, é o uso da plataforma BIM – em inglês *Building Information Modeling* (Modelagem de Informação da

Construção), como outro modo de projeto e uma das principais propostas do uso dessa tecnologia é proporcionar a troca mútua e contínua de informações ao longo do processo de edificação de uma obra.

Assim, o objetivo deste artigo é analisar o uso da tecnologia BIM - *Building Information Modeling* na compatibilização de projetos, identificando pontos benéficos e dificuldades quanto à sua aplicação.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia do artigo é de caráter descritivo, baseada na análise de dados secundários, conforme Figura 1.

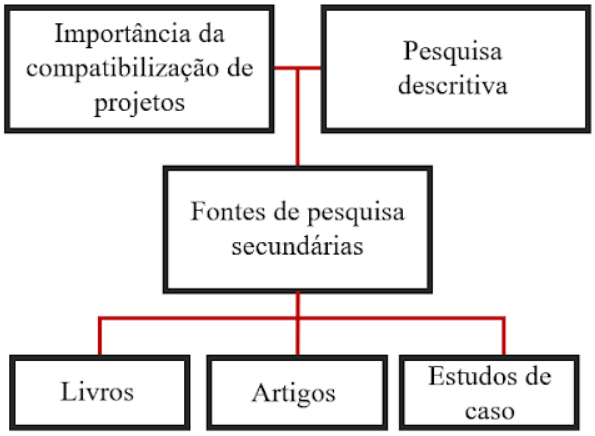



Figura 1. Desenho metodológico do artigo
Fonte: Autores, 2019

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Importância da compatibilização de projeto no planejamento da obra

Cada nova obra parte de um projeto, o qual tem suas características e particularidades, as quais dependem do local, do clima, do entorno, do mercado de trabalho, o que gera um projeto único. Para isso, é necessário um planejamento específico, que inclui prazos, custos e possíveis impasses. Todo esse processo deve atender as necessidades de construtores, incorporadores. E, por fim o consumidor, abrangendo eficiência, produtividade e qualidade.

Segundo Callegari (2007), se um projeto não ganha a atenção devida no início do processo, chega nas mãos de quem irá executar a obra com muitos erros e incompatibilidade, levando a ineficiência da execução e também à perda de características dos produtos adequados, prova desse fato são as inúmeras patologias encontradas nos edifícios.

Melhado (1994) descreve que, para ter um resultado bom em uma construção, é de extrema importância a atenção máxima na fase de projeto, otimizando a organização dos processos. O uso das novas tecnologias deve ajudar nesse processo, com o objetivo da compatibilização dos projetos existentes, além da associação de projeto com fabricantes e colaboradores.

Para evitar os erros citados, a compatibilização é indispensável na concepção de projetos, identificando e excluindo possíveis falhas na fase projetual inicial, reduzindo ou até mesmo limitando retrabalhos e custos desnecessários. Para Salgado (2007), o projeto executivo é uma peça fundamental no processo de obra, otimizando e racionalizando o uso de materiais, sem grandes desperdícios ao considerar suas dimensões exatas, assim, evitando a incompatibilidade.

Desta forma, a fim de conscientizar a importância da compatibilização de projetos, Nascimento (2013), relacionou e discutiu os problemas encontrados nas obras através de um estudo de caso abordado em sua pesquisa “A importância da compatibilização de projetos como fator de redução de custos na construção civil”, tomando como referência o fluxo de processos de elaboração de projetos desenvolvido pelas empresas.

Para tanto, o mesmo utilizou-se do engenheiro de obra como mediador essencial para o feedback dos projetos, propondo uma pesquisa de ponto de vista quanto à qualidade dos projetos recebidos, aplicando assim, à alguns engenheiros de obras, um questionário discursivo baseado em 9 (nove) questões. Os resultados encontrados de acordo com os questionados, em suma afirmam que as falhas de projeto por motivo de problemas de compatibilização são comuns, por exemplo incompatibilidades de projetos estruturais e de instalações com projetos de arquitetura e drenagem (Nascimento, 2013)

A pesquisa reforça que, entre os erros mais comum descrevem a incorreta localização dos furos de passagem nas lajes e a mudança de sentido dos pilares de um prédio. Assim, na opinião dos engenheiros entrevistados, a maioria dos projetos não são elaborados com os detalhes necessários à sua execução – instalações de gás, manta de impermeabilização, instalações hidrossanitárias com detalhamento de shafts, por exemplo – apesar disso, gradativamente os novos projetos estão sendo mais detalhados, ocasionando como consequência uma redução do número de consultas ao núcleo

de projetos (Nascimento, 2013). Assim, notasse a necessidade de fazer o melhor uso dos processos de compatibilização de projetos para o sucesso e melhor andamento da obra.

### 3.2 Compatibilização aplicada nos projetos

A compatibilização tem como plano dominar as preferências de cada projetista para com os processos do projeto como um todo e evidencia a inevitabilidade de que se trabalhe de forma sistemática, onde todos os participantes apresentem uma parte considerável tanto no desenvolvimento quanto no aperfeiçoamento (GRILO, 2002).

Segundo Picchi (1993), a compatibilização de projetos tem como base sólida constatar influencias por meio de justaposição. E, além disso, arranjar reuniões com os responsáveis pelo projeto e os colaborados envolvidos, com o pressuposto de solucionar os impasses. Callegari (2007), descreve que a compatibilização equivale a atividade de administração e assimilação dos projetos, com intuito da correspondência entre eles, abstraindo os embates entre projeto/obra, sintetizando a execução, desenvolvimento e uso de instrumentos, tempo e mão de obra.

Na definição da NBR 5674 (Manutenção de edificações – Procedimento) o projeto é conceituado como "a descrição gráfica e escrita das características de um serviço ou obra de Engenharia ou de Arquitetura, definindo seus atributos técnicos, econômicos, financeiros e legais" (ABNT, 1999).

Nesse sentido, a compatibilização é de extrema importância na averiguação de problemas físicos e tecnológicos que possam abranger uma construção. E também, acredita-se que possa ser interpretada como uma troca mútua de informações projetuais diversas, tendo como finalidade eliminar interferências e diminuir/evitar o retrabalho, tempo gasto e desperdício de material.

### 3.3 Plataforma BIM - *Building Information Modeling*

Com a percepção que a compatibilização de projetos se torna necessária, o uso da tecnologia BIM é um progresso que, traz a solução para diversos impasses na construção civil. E, pode ser considerado, um dos mais avançados desenvolvimentos tecnológicos relacionados a arquitetura, engenharia e construção. Isso porque, com o uso da plataforma BIM, é possível construir uma edificação precisa de forma digital (Costa, 2013).

Segundo Freitas (2014), o BIM tem como peculiaridade a fusão do seu processo de modelação 3D com gerenciamento, e compartilhamento de dados durante o processo desenvolvimento de um edifício, tendo como efeito um padrão com representações tridimensionais sincronicamente, onde cada detalhe de projeto exibe aspectos atuais. Assim, essa plataforma possibilita a junção e interação de muitos projetos. E, além disso, proporciona a análise tridimensional do projeto, fator esse que, evita elementos sobrepostos; sendo esse detalhe o principal diferencial da plataforma CAD, que trabalha apenas com linhas e em formato 2D.

Na fase de orçamento de uma obra, os colaboradores e profissionais nela inclusos necessitam de referências e noções do quantitativo de material a ser utilizado, para após isso, dar seguimento aos cálculos. Se houver o uso do BIM, a pessoa responsável pelo orçamento terá acesso ao montante que será necessário de materiais, através das ferramentas desta tecnologia, e esses cálculos apresentam maior embasamento teórico (Campestrini, 2015).

A ferramenta não se abstém apenas na compatibilização de projeto, ela parte desde a topografia do local até a entrega final e avaliação. A Figura 2, a seguir, ilustra o ciclo de vida de uma edificação e suas três etapas (em amarelo, a macrofase de projeto, em laranja a de construção e em vermelho a de operação e manutenção). Ainda, apresenta que, em um período de 20 (vinte) anos, baseado em estudos-norte americanos, a etapa de projeto corresponde a aproximadamente 5% dos custos de um empreendimento, enquanto que a etapa de construção cerca de 25% e de operação e manutenção aproximadamente 70% (Mello, 2012).

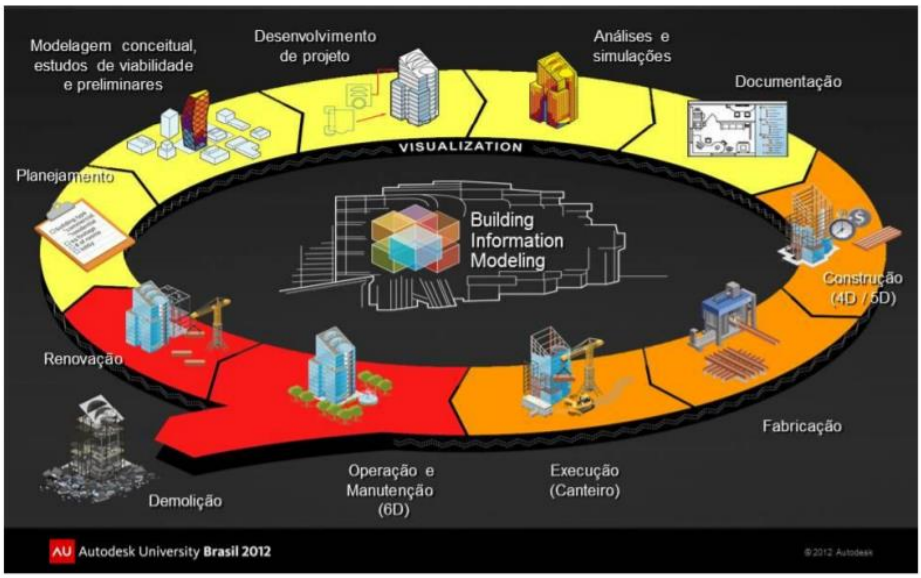



Figura 2. BIM e o Ciclo de Vida de uma Edificação
Fonte: Mello, 2012

Dentre as inúmeras possibilidades e soluções que a plataforma proporciona, as áreas estão divididas em dimensões BIM, conforme Figura 3.

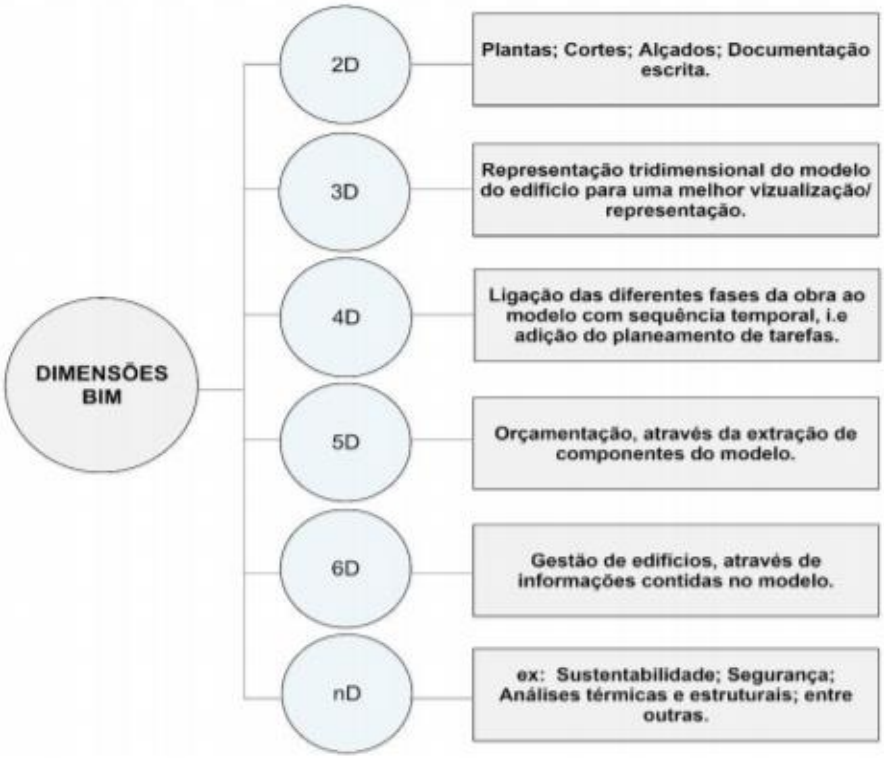



Figura 3. Dimensões BIM
Fonte: Almeida, 2015

Em resumo Oliveira (2009) afirma que, o BIM trabalha com a parametrização dos elementos constituintes do projeto, onde o desenho é automaticamente ajustado quando se modifica um elemento com um novo valor. Isso permite que, o profissional (arquiteto, engenheiro civil) explore alternativas diversificadas, já que o modelo é interativo, possibilitando a visualização de diferentes soluções e auxiliando a tomada de decisão.

### 3.4 Dificuldades e pontos benéficos do uso do BIM

Costa (2013), apresenta em sua pesquisa titulada “Avaliação da Metodologia BIM para a Compatibilização de Projetos” que, o uso do BIM dentro do processo de projeto aplicado à compatibilização, é vantajoso desde que utilizado por todos os profissionais envolvidos no desenvolvimento dos diferentes projetos, além de outros pontos positivos, tais como:

- A possibilidade de destacar automaticamente interferências entre os projetos de edificações;
- Redução significativa de tempo gasto com retrabalhos de desenhos, uma vez que as informações são atualizadas automaticamente em todas as vistas do projeto;
- Auxilio na geração de quantitativos, orçamentos, gerenciamento das etapas de construção, organização de canteiros de obras, somando para a qualidade final da edificação.
- Atualização automática dos desenhos após a modificação de algum elemento.

Entretanto, há também, alguns pontos negativos e/ou dificuldades evidenciadas durante o uso do BIM:

- O primeiro deles é referente à capacidade de processamento e armazenagem muito maior, exigindo máquinas mais caras e potentes;
- Nem todos os profissionais envolvidos nos diferentes projetos utilizam e aplicam o BIM;
- Alto custo de implantação de Softwares e treinamento especializado;
- Necessidade de bases formadores, investirem no processo de capacitação de seus alunos;
- Investimento para pesquisas de cunho acadêmico para o desenvolvimento de softwares livres que comtemplem o BIM em sua interface.

Em síntese, e com base na pesquisa de Costa (2013), elaborou-se um gráfico (Figura 4) que apresenta as maiores desvantagens em porcentagem de utilização do BIM.

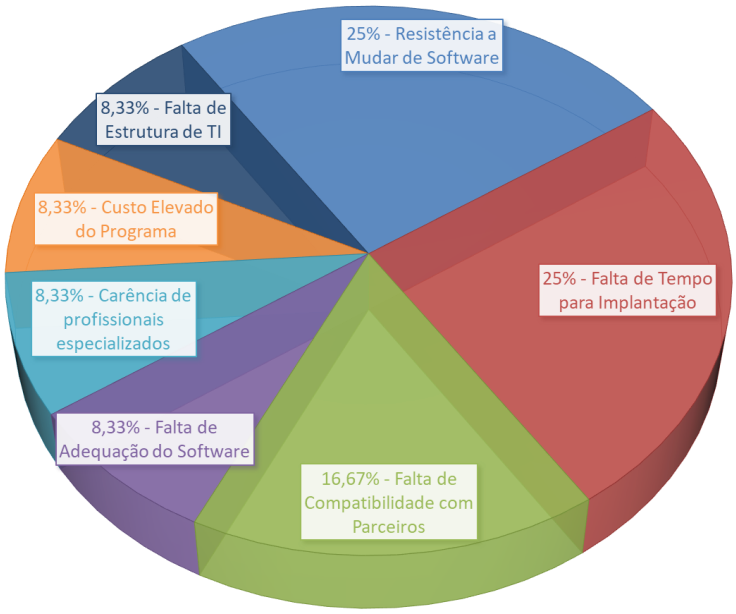



Figura 4. Percentual das desvantagens no processo de utilização do BIM
Fonte: Elaborado pelos Autores (2019), com base em Costa (2013)

É de suma importância salientar, que a tecnologia não deve ser vista como uma exclusão das atividades e presença do projetista, já que a plataforma BIM não resolverá todos os problemas, cabendo ao mesmo à parte pensante do projeto e a de entender plenamente o funcionamento do conceito BIM. Pertence ao projetista, discernir junto com a sua experiência quais são os locais mais propensos a ocasionar erros e criar uma matriz para verificação, além de decidir quando o programa e extrapolará a quantidade de interferências (Costa, 2013).

## 4. CONCLUSÕES

O uso da tecnologia BIM apresenta benefícios e limitações quanto ao seu uso e implementação, considerando os processos de uso e tomada de decisões em projetos da construção civil. No entanto, se comparadas as considerações

positivas recebem maior ênfase, pois resultam em projetos e canteiros de obra mais organizados, eficientes com encomia de recursos humanos, econômicos, de matérias e ambientas.

As pesquisas teóricas referenciadas neste artigo (estudos de caso) são exemplos de que, o uso da tecnologia BIM pode ser uma das alternativas para a sustentabilidade na construção civil. Isso porque, há uma série de estratégias dentro da plataforma BIM que assegura o melhor uso dos materiais. Por fim, é possível que em um futuro próximo, os profissionais e empresas do setor da construção necessitarão utilizar da tecnologia BIM, não apenas para a compatibilização dos projetos. Mas, também, para a melhor desenvolvimento de seus recursos.

## 5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. R. B., 2015. Análise da interoperabilidade aplicada ao projeto BIM de Estruturas Metálicas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, Portugal.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999. Manutenção de edificações –Procedimento. NBR 5674, ABNT, 2p.

CALLEGARI, S, 2007. *Análise da Compatibilização de Projetos em Três Edifícios Residenciais Multifamiliares*. Dissertação – Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.

CAMPESTRINI, 2015. Tiago Francisco. Entendendo BIM. **–** Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação. 1. ed. Cuiabá: FABRÍCIO NOGUEIRA COSTA.

COSTA, Eveline Nunes, 2013. *Avaliação da Metodologia BIM para a Compatibilização de Projetos.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Acesso 19 Agosto. 2019 <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3415/6/DISSERTAÇÃO_%20AvaliaçãoMetodologiaBim.pdf>. *Custos na Construção Civil.* Em Revista Especialize On-line IPOG – ISSN 2179-5568, 7ª Edição nº 007 Vol.01/2014 Julho/2014, Goiânia.

FREITAS., 2014. Gonçalo Andrade Freitas. Metodologia BIM. – uma nova abordagem, uma nova esperança. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira.

GRILO, LEONARDO., 2002. Gestão do processo de projeto no segmento de construção de edifícios por encomenda - Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 391 p.

MELHADO, S. B., 1994. Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. Tese de Doutorado. São Paulo: PoliUSP.

MELLO, R., 2012. BIM e Custos: maximize os dados do modelo com o Navisworks e o Quantity Takeoff. Autodesk University Brasil. Disponível em: <http://staticwd.autodesk.net/content/dam/au/Brasil-2014/documents/materialapoio/2012/AUBR-44_Apostila.pdf>. Acesso em: 20 de agosto. 2019.

MONTEIRO, Ana Caroline Nogueira et al, 2017. *Compatibilização de Projetos na Construção Civil: Importância, Métodos e Ferramentas.* Em Revista Campo do Saber – ISSN 2447- 5 017, Vol 3 – nº 1 -jan/jun 2017. Acesso 22 Agosto 2019. <http://periodicos.iesp.edu.br/index.php/campodosaber/article/view/62/50>

NASCIMENTO, José Marcos do, 2013. *A Importância da Compatibilização de Projetos como Fator de Redução de Custos na Construção Civil.* Em Revista Especialize On-line IPOG – ISSN 2179-5568, 7ª Edição nº 007 Vol.01/2014 Julho/2014, Goiânia.

OLIVEIRA, M. R.; FABRICIO, M. M., 2009. Modelos físicos e virtuais como ferramentas do ensino de projeto de arquitetura: relato de uma vivência. In: SIGraDi -, São Paulo, SP. Anais do 13th Congress of Iberoamerican Society of Digital Graphics, 2009. p. 266-268.

PICCHI, F. A., 2007. Entrevista. Revista Téchne, São Paulo, mar./abr. 1993 SALGADO, Mônica Santos. Gestão do Processo de Projeto na Construção do Edifício – revisão 1. Apostila. GEPARQ – Grupo de Pesquisa Gestão em Projetos de Arquitetura, Programa de Pós Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

RUSCHEL, Regina Coeli et al, 2013. *O Papel das Ferramentas BIM de Integração e Compartilhamento no Processo de Projeto na Indústria da Construção Civil.* REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 7 - nº 3, 2013. doi.: 10.5216/reec.v7i3.27487. Acesso 22 Agosto. 2019 <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/2748;>

SALGADO, Mônica Santos., 2007. Gestão do Processo de Projeto na Construção do Edifício – revisão 1. Apostila. GEPARQ – Grupo de Pesquisa Gestão em Projetos de Arquitetura, Programa de Pós Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO PÓ DE MDF COMO ADITIVO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO

**Francescoli Antonietti**
**Gabriela Caron**
**Gabriel Dalla Vechia**
**Suelen Cristina Vanzetto**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim
francescolli_09@hotmail.com
gabrielamcaron@hotmail.com
gabriel-ldv@hotmail.com
suelen@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Com a grande expansão industrial, fábricas produzem muito mais em menos tempo, o que ocasiona numa maior geração de resíduos. Este fato é acompanhado pela indústria moveleira, geradoras de resíduos de cavacos, maravalha e serragem ou pó. Visando o aumento produtivo, a indústria moveleira substituiu quase que por completo sua matéria-prima de material para painéis reconstituídos de madeira de reflorestamento, como o MDF (Medium Density Fiberboard). O presente trabalho teve como objetivo estudar do uso do resíduo de pó de MDF (Medium Density Fiberboard) como aditivo na fabricação de blocos cerâmicos de vedação. Foram incorporados aos blocos cerâmicos o resíduo em seu estado natural e calcinado, para obtenção dos resultados de análise. Para isso foram realizados testes quanto as características geométricas, físicas e de compressão dos blocos, que receberam adição de 1%. As análises finais apresentaram resultados satisfatórios, para as adições do resíduo de pó do MDF (Medium Density Fiberboard) in natura e calcinado, na fabricação de blocos cerâmicos de vedação.*

***Palavras-chave:*** *MDF, resíduo de pó, bloco, cerâmico, de vedação.*

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a política ambiental tem se tornado um assunto cada vez mais debatido. Este tema, é também discutido dentro da construção civil, que busca cada vez mais reaproveitar seus materiais, diminuindo os desperdícios, gerando assim, menos custo e menor geração de resíduos sólidos (GARCEZ, 2013).

A consciência ecológica da população vem crescendo, transformando tanto o setor privado quanto as autoridades ambientais, uma vez que ambas se encontram mais engajadas a fazer produtos que tragam menos impactos ao ambiente, e que possam recuperar materiais antes descartados (PRADO, 2007).

Pensando nesse panorama, a indústria moveleira já tem trocado quase que por completo sua matéria-prima de madeira nativa, para painéis reconstituídos de madeira de reflorestamento (normalmente pinus), que agridem menos o meio ambiente, porém os resíduos gerados no processo produtivo ainda carecem de maior atenção (FARAGE, 2009).

A indústria moveleira é formada no Brasil por aproximadamente 16.000 fábricas, sendo uma das grandes responsáveis pela geração de resíduos sólidos, que trazem consigo um enorme passivo ambiental, principalmente quando se trata da destinação de resíduos de madeira ou painéis reconstituídos de madeira o MDF. Quanto ao MDF, apresentado uma maior preocupação quanto ao descarte de resíduos, uma vez que sua camada adesiva é composta em sua maioria por uréria-formoldeído, substância agressiva ao meio ambiente quando não destinada corretamente (MAFFESSONI, 2012).

Pensando nos resíduos que gera a indústria de móveis, o presente trabalho busca através de análise de dados, viabilizar a utilização do pó de MDF gerado na fabricação de móveis, na construção civil, sendo utilizado no estudo como aditivo na fabricação de blocos cerâmicos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

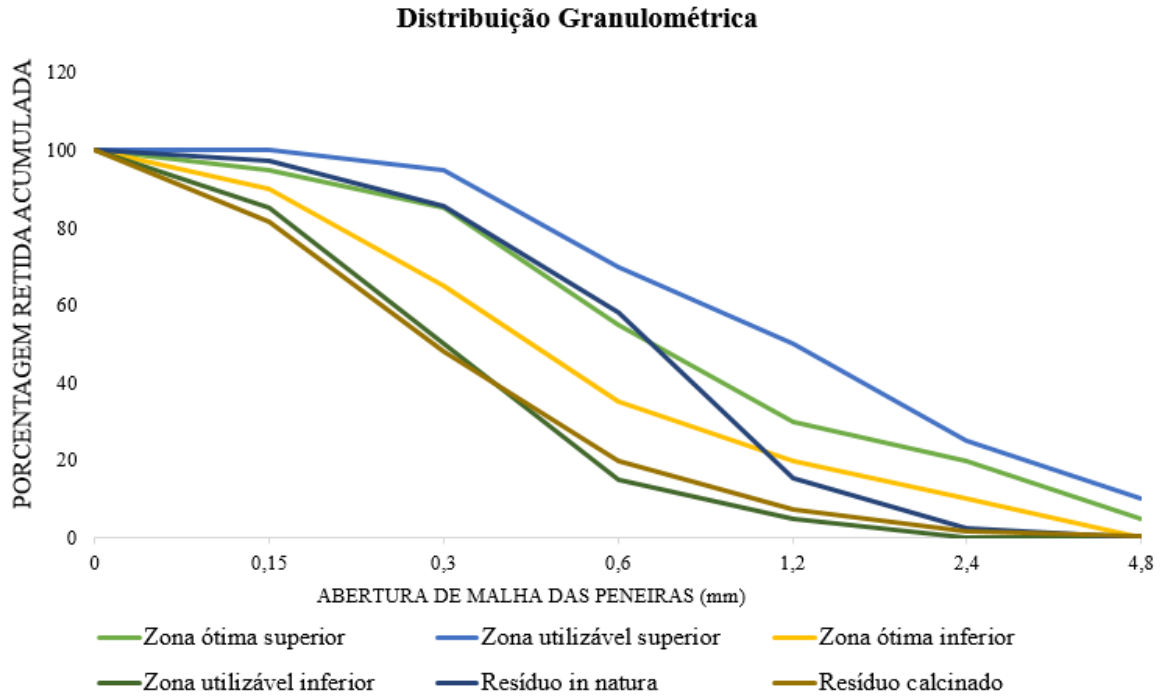
### 2.1. Caracterização do resíduo

O resíduo que foi incorporado ao bloco cerâmico em sua fabricação, trata-se da sobra de um pó, proveniente de diversas etapas na fabricação de móveis em MDF. Foi caracterizado para este resíduo no presente trabalho a granulometria, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003), visto que era necessário entender se as condições granulométricas do material possibilitassem que o mesmo fosse usado para o fim desejado.

Para a análise dos resíduos foram adotados os mesmos ensaios para ambos (in natura e calcinado). In natura foram quantificados os dados usando o resíduo de pó de MDF retirado diretamente da fonte geradora, já in natura, o resíduo foi calcinado na mufla em laboratório, a uma temperatura de aproximadamente 300°C por cerca de 20 minutos.

A caracterização do resíduo in natura, mostra que o diâmetro máximo característico ficou na peneira de 2,36mm, e o módulo de finura em 2,59, ficando assim dentro da zona ótima granulométrica enquanto o resíduo de pó de MDF calcinado, manteve a mesma dimensão máxima característica, porém, ouve uma redução do módulo de finura de 2,59 para 1,59, ficando dentro da zona utilizável inferior. Foi também possível analisar que a peneira com maior índice de grãos que in natura ficou na peneira de 0,60mm, depois de calcinado passou para a peneira de 0,15mm, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1– Curva de distribuição granulométrica dos resíduos de pó de MDF com zonas ótimas e utilizáveis




### 2.2. Caracterização da argila

Para a caracterização da argila, foi adotado a metodologia do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), que avalia a matéria-prima de argilas utilizadas para fabricação de blocos cerâmicos.

Os ensaios consistiam em formar cinco corpos de prova circulares, com espessura de 10 a 15mm, utilizando todas as amostras de solos utilizadas na fabricação do bloco. As amostras de solo foram incorporadas em um cilindro e compactadas com a ajuda de um pilão compactador. Feito isso, foram tomadas medidas de diâmetro, altura e massa, além de fazer uma marcação de medida padrão, com paquímetro, que auxiliam nas medidas para quantificação da retração.

Posterior a moldagem e primeiras medições, os corpos de provas foram submetidos a estufa com 90° C, por cerca de 24 horas. Após sair da estufa, foram novamente medidos, afim de quantificar as medidas com relação a secagem. Para a retração linear de secagem (%), foi usada a equação 1.

$$RLs\ (\%) = \frac{(Lc - Ls)\ \times 100}{Lc} \quad (1)$$

Onde:

RLs (%) = Retração Linear de Secagem, expressa em porcentagem
Lc = Comprimento do corpo de prova cru, dado em mm
Ls = Comprimento do corpo de prova seco, dado em mm

Após todas as medições terem sido feitas, os corpos de provas foram submetidos a mufla por duas horas, com temperatura de 800°C. Quando saíram da mufla, foram novamente medidos a fim de tornar possível a caracterização de queima das amostras. Na retração linear de queima (%), foi usada a equação 2.

$$RLq\ (\%) = \frac{(Ls - Lq)\ \times 100}{Ls} \quad (2)$$

Onde:

RLq (%) = Retração Linear de Queima, expressa em porcentagem
Lq = Comprimento do corpo após a queima, dado em mm
Ls = Comprimento do corpo de prova seco, dado em mm

Ainda foi caracterizado a retração total (%), onde foi utilizada a equação 3.

$$RLt\ (\%) = \frac{(Lc - Lq)\ \times 100}{Lc} \quad (3)$$

Onde:

RLt (%) = Retração Linear total, expressa em porcentagem
Lc = Comprimento do corpo de prova cru, dado em mm
Lq = Comprimento do corpo após a queima, dado em mm

Após foram submetidas ao ensaio de absorção d'água, onde foram submergidas em água por 24 horas, e após retiradas da água pesadas, fornecendo informações necessárias para a caracterização da porcentagem de absorção d'água, que é expresso pela equação 4, onde *mu* é o resultado da massa úmida e *ms* o resultado obtido da massa seca.

$$AA\ (\%) = \frac{(mu - ms)\ \times 100}{ms} \quad (4)$$

Onde:

AA (%) = Índice de Absorção d'água, expressa em porcentagem
mu = Massa da amostra saturada, dado em gramas
ms = Massa seca da amostra, também expressa em gramas

### 2.3. Caracterização do Bloco Cerâmico

Entende-se por blocos cerâmicos aqueles fabricados através da conformação de massa plástica de argila, que podem ou não conter aditivos, e queimados em altas temperaturas, conforme NBR 15270-1.

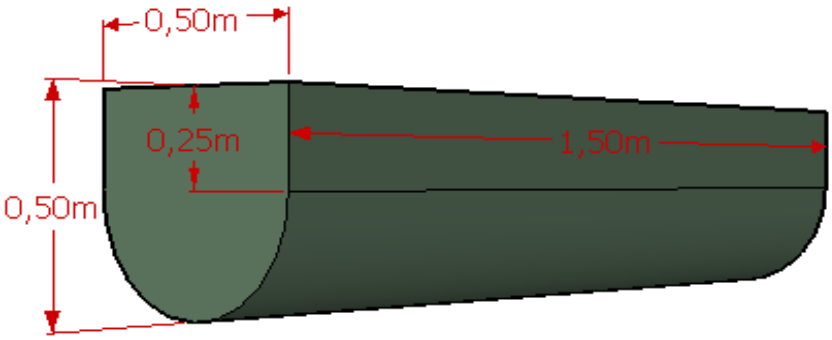
Os blocos devem atender as características visuais, que consistem em não apresentarem quebras ou fissuras, bem como terem ranhuras, furos e septos que caracterizam o bloco cerâmico. Devem também atender características geométricas, físicas e de resistência a compressão.

### 2.4. Incorporação do resíduo de pó de MDF na confecção de blocos cerâmicos de vedação

Após análise granulométrica do resíduo, e com base em bibliografia existente, foi fixado a porcentagem de 1% de adição de pó, a ser acrescentado no volume de solo usado na fabricação do bloco cerâmico de vedação. O pó foi adicionado em uma etapa inicial da produção, em um misturador onde através de esteiras, se encontram os três tipos de solo usados na fabricação.

O tanque misturador possuía medidas de 1,5m de comprimento, 0,50m de largura e 0,75m de altura, dessa onde 0,10m não é preenchida com solo, conforme representação ilustrativa com medidas na figura 2 e real representação na figura 3.

Figura 2 – Representação ilustrativa do tanque misturador com medidas




Fonte: Autor, 2019.

Figura 3 – Tanque misturador



Fonte: Autor, 2019.

O misturador é composto de um semicírculo na parte inferior, e um retângulo na parte superior. O retângulo com 0,25m de altura, fica sem solo nos 0,10m mais externos, diminuindo sua altura útil para 0,15m, portanto, o volume do tanque pode ser expresso dividindo o tanque em dois volumes, o volume de semicírculo e o volume do retângulo.
O volume do semicírculo, uma vez que o mesmo apresenta 0,25m de raio é expresso pela equação 5.

$$Vsc = \frac{\pi r^2}{2} * 150 \quad (5)$$

Onde:

Vsc = Volume do semicírculo, expressa em $cm^3$
r = raio do semicírculo (25cm)

Dessa forma, é possível constatar que o volume do semicírculo fica em 147.262,1556 $cm^3$, e quando acrescentado ao volume útil da parte retangular (15cm * 50cm * 150cm), torna o tanque com um volume total de 259.762,1556$cm^3$.

Para chegar ao valor do volume de 1%, foi pego o volume total do tanque e multiplicado por 0,01 (259.762,1556$cm^3$ * 0,01), chegando ao valor de 2.597,62$cm^3$. A partir do momento em que tirarmos a raiz cúbica desse valor, chegamos a um cubo perfeito que representa 1% do volume total do tanque ($\sqrt[3]{2.597,62}$ = 13,75cm).

Definido o tamanho do cubo perfeito que presenta o volume de resíduo a ser incorporado, foi confeccionado duas caixas em MDF, com medidas internas exatas de 13,75cm, conforme figura 13, que foram usadas para a mensuração do resíduo de MDF a ser incorporado na fabricação no bloco.

Os blocos confeccionados são do tipo 8 furos, com largura de 11,5cm, comprimenro de 24cm e altura de 19cm. A figura 4 abaixo mostra os blocos quando saem da extrusora (esquerda) e depois de terem passado por todo o processo produtivo após a queima (direita).

Figura 4 – Blocos crus e bloco após queima



Fonte: Autor, 2019.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de produção do bloco cerâmico envolve 3 tipos de argilas diferentes. Foram moldados 5 corpos de prova cilíndricos para cada tipo de solo, totalizando 15 CPs, conforme figura 5.

Figura 5 – Corpos de provas das argilas




Fonte: Autor, 2019.

Para as argilas foram atribuídos nomes para diferenciação. A argila mais fraca, apresentava coloração avermelhada e nesse trabalho é chamada de argila vermelha. A argila mais forte apresentava coloração mais escura, foi adotado o nome de argila preta, e pôr fim a argila que se apresentou de maneira mais visguenta foi atribuída o nome de argila liga. Todos apresentam diâmetro de 100mm foram medidos e pesados em seu estado cru, após secagem e após queima, os quais foram submetidos a ensaios com base em teses realizados pelo IPT.

Com as análises foi possível observar, que o material de solo que mais sofre retração no processo de fabricação dos blocos cerâmicos é a amostra de argila liga, sofrendo uma retração linear total de 10,206% após a queima.

Esse alto índice de retração da matéria prima após a queima, pode ocasionar formação de vazios, trincas e diminuição das propriedades do bloco cerâmico.

Fazendo a análise comparativas da absorção d'água de todas as amostras de solo, é possível constatar que a amostra que mais absorve água é a argila preta, com absorção média de 26,275%, no entanto, a amostra que menos retém água é a amostra de solo da argila vermelha, com uma absorção média de 23,73%.

Esse fato pode fazer com que quando as argilas se juntarem para formar o bloco cerâmico, façam com que o mesmo não atenda o índice de AA, problema que pode oferecer preocupantes patologias futuras, pondo em risco a utilização do bloco.

**Caracterização dos blocos cerâmicos de vedação**

As características geométricas do bloco cerâmico, são as de altura, largura, comprimento, planeza de face e espessura dos septos. Tais medidas devem atender aos requisitos da NBR 15270, podendo em todos os casos ter uma variação de 5mm para mais ou para menos.

Observando as medições, é possível averiguar, que os blocos convencionais apresentaram medidas dentro da tolerancia estipulada pela norma, podendo assim serem comercializados atendendo as normativas geométricas.

Quando analisamos as medidas dos blocos com adição de resíduo in natura, constatamos que se apresentaram com diferenças de medidas dentro da norma, não sofrendo deformações devido a adição.

Os blocos produzidos com a adição do resíduo calcinado quando medidos, obtiveram também resultados de atendimento a norma quando as características geométricas. Dessa forma é possível concluir que a adição dos resíduos tanto in natura quanto calcinado, não influenciaram em tal propriedade dos blocos, expondo assim, a viabilidade de exploração da incorporação do material na fabricação de blocos cerâmicos de vedação.

**Características físicas do bloco de vedação**

As características físicas de um bloco cerâmico tratam-se da massa seca e a absorção d'água, características as quais que são de suma importância para a manutenção da vida útil do bloco. A massa seca é a medida do bloco após ser submetido a estufa, e a absorção d'água podem ser observadas na tabela 1 que se refere ao bloco convencional.

Tabela 1: Características Físicas do Bloco Convencional

| | | P1 | P2 | P3 |
|---|---|---|---|---|
| **MASSA SECA** | ms em g | 4226 | 3844 | 3772 |
| **MASSA SATURADA** | m.u em g | 5176 | 4796 | 4702 |
| **ÍNDICE DE ABSORÇÃO** | AA em % | 22,5 | 24,8 | 24,7 |

Fonte: Autor. 2019

Com os dados expostos, é possível observar que nenhum dos blocos analisados atende a NBR 15270, já que apresentaram AA superior a 22%. A tabela 2, apresenta os dados de massa seca e AA para os blocos que foram produzidos com a adição do resíduo do pó de MDF em seu estado natural.

Tabela 2: Características Físicas do Bloco com Adição do Resíduo In Naura

| | | P1 | P2 | P3 |
|---|---|---|---|---|
| **MASSA SECA** | ms em g | 4120 | 3992 | 4032 |
| **MASSA SATURADA** | m.u em g | 4952 | 4934 | 4974 |
| **ÍNDICE DE ABSORÇÃO** | AA em % | 20,2 | 23,6 | 23,4 |

Fonte: Autor. 2019

Os dados de AA dos blocos com adição em natura apresentam uma melhora com relação aos convencionais, uma vez que a norma foi atendida em pelo menos uma das amostras analisadas com AA de 20,2 %. No entanto, quando feito a média dos blocos para AA, obtivemos o resultado de 22,4%, ligeiramente ultrapassando os 22% que é o máximo estipulado por norma.

A tabela 3, mostra quais foram os resultados dos índices físicos, obtidos pelos blocos que foram produzidos com adição do resíduo do pó de MDF calcinado.

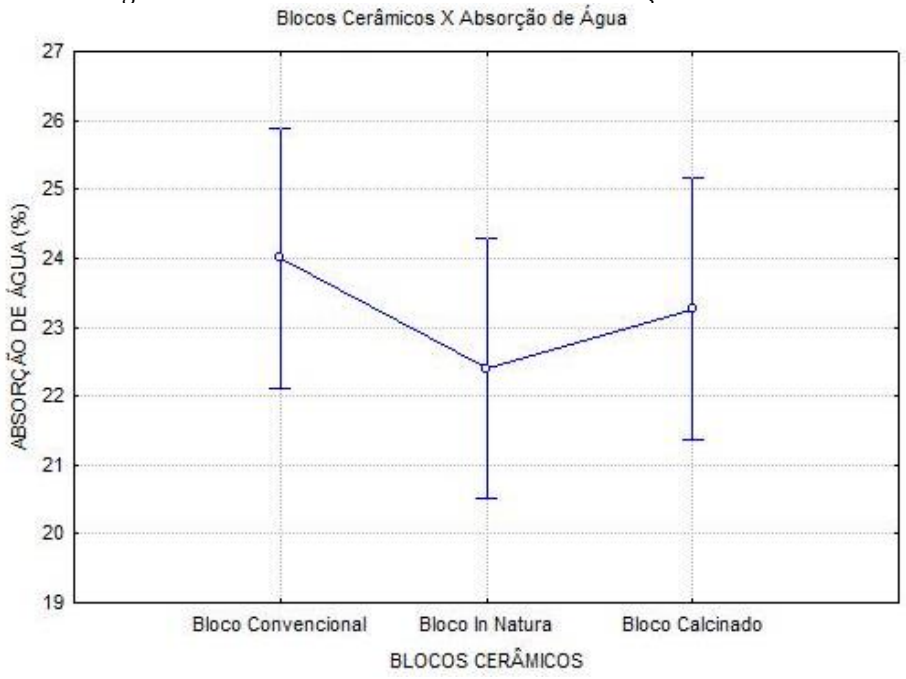
Tabela 3: Características Físicas do Bloco com Adição do Resíduo Calcinado

| | | P1 | P2 | P3 |
|---|---|---|---|---|
| **MASSA SECA** | ms em g | 4226 | 3844 | 3772 |
| **MASSA SATURADA** | m.u em g | 5176 | 4796 | 4702 |
| **ÍNDICE DE ABSORÇÃO** | AA em % | 22,5 | 24,8 | 24,7 |

Fonte: Autor. 2019

Novamente analisando os dados, constamos que os blocos com adição do resíduo calcinado não atende a NBR15270, ficando com valor médio acima de 22%. A figura 6, apresenta a representação gráfica do comportamento dos blocos em relação da absorção d'água.

Figura 6: Características Físicas do Bloco com Adição do Resíduo Calcinado




Esse resultado de excesso de AA, pode ocasionar diminuição da resistência da alvenaria, o aumento da possibilidade de fissuras e rachaduras, descolamento ou esfarelamento do reboco e a perda progressiva da aderência, fatores que diminuem drasticamente a vida útil do bloco.

Ainda com os dados dos índices físicos, pode-se concluir, que as argilas analisadas no item 4.1.2, realmente influenciam de maneira negativa quanto a AA final do bloco, fazendo com que em nenhum dos casos os blocos analisados atingissem o intervalo determinado na normativa.

Analisando os dados do gráfico, podemos dizer que a adição de 1% de pó de MDF em seu estado natural apresentou uma melhora de 6,5% na AA do bloco, dado que pode ser atribuído ao fator granulométrico, uma vez que o resíduo in natura apresenta grãos maiores que a argila e o resíduo calcinado, podendo ter melhorado o empacotamento, bem como a diminuição de vazios no bloco depois de submetido a queima.

**Características de resistência a compressão dos blocos de vedação**

A resistência a compressão dos blocos cerâmicos, trata-se do resultado das tensões existem a qual o mesmo pode ser exposto sem que ocorra redução de volume ou encurtamento na direção comprimida, estipulado pela NBR 15270 como 1,5 MPa. A tabela 4, traz as informações de resistência a compressão dos blocos cerâmicos convencionais e com adições.

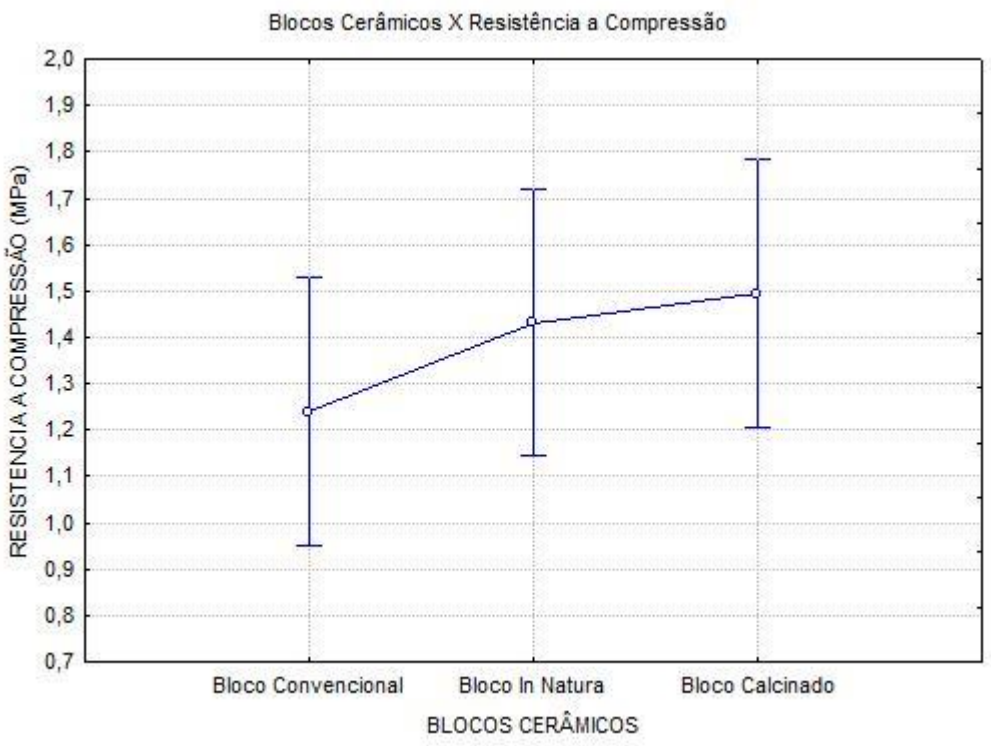
Tabela 4: Características de Resistência a Compressão dos Blocos

| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **B. CONVENCIONAL** | MPa | 1,80 | 0,81 | 1,59 | 1,12 | 1,12 | 1,00 |
| **B. COM ADIÇÃO IN NATURA** | MPa | 1,49 | 1,37 | 1,43 | 1,54 | 1,64 | 1,12 |
| **B. COM ADIÇÃO CALCINADA** | MPa | 1,72 | 2,09 | 1,56 | 0,97 | 1,42 | 1,21 |

Fonte: Autor. 2019

Quando feita a média de resistência a compressão dos blocos, pode-se verificar que o bloco convencional alcançou uma resistência de 1,24 MPa. Já os blocos com adição do resíduo in natura e com adição do resíduo calcinado, tiveram uma média de resistência de 1,43MPa e 1,495 MPa. A figura 7 traz a representa gráfica do comportamento que cada bloco teve, quando foram submetidos a ensaio de compressão.

Figura 7: Resistência a Compressão do Blocos Cerâmicos




Embora estava demostrado que estatisticamente todos são iguais, é possível também evidenciar, que os blocos que receberam as adições tiveram uma melhora na casa de 20% quando submetidos a ensaios de compressão, fato que novamente pode ser explicado pela diferença granulométrica da argila usada na matéria prima e dos resíduos incorporados.

Todos os testes realizados nos blocos, comprovaram uma significativa melhora quando expostos a testes, comprovando assim, a viabilidade da utilização do resíduo do pó de MDF, na fabricação de blocos cerâmicos de vedação.

## 4. CONCLUSÃO

A análise granulométrica dos resíduos trouxe a informação que pode o mesmo ser incorporado, sem beneficiamento preliminar, aos blocos cerâmicos, uma vez que atendeu a faixa granulométrica igual ou menor a 0,60mm, granulometria essa que, segundo SILVA 2009, deve ser a faixa máximo para a fabricação dos blocos.

Permitiu também concluir, que o resíduo quando calcinado, tem uma redução granulométrica, além da perda de massa no processo, tornando assim o material mais fino e mais leve para a incorporação.

Quanto a análise realizada nas argilas que servem como matéria prima para a produção dos blocos cerâmicos convencionais, chegou-se à conclusão que por apresentarem alto índice de absorção d'água, e alto teor de retração, são as responsáveis pelos blocos convencionais não alcançarem índices de AA e resistência a compressão, conforme estipulados pela NBR 15270, podendo apresentar riscos a utilização do bloco, tendo desta forma a necessidade de se adotar medidas para aumentar a qualidade final do mesmo.

Para os dados analisados para os blocos com adição, houve de maneira positiva uma diminuição de 6,5% no índice de absorção d'água, e um ganho aproximadamente de 20% quanto a resistência a compressão, além de não apresentarem avarias, quanto as características geométricas, tornando desta forma, evidente a viabilidade da incorporação do pó de MDF, na fabricação de blocos cerâmicos de vedação.

Fazendo uma avaliação do estudo, a carência de estudos sobre materiais alternativos, que possam ser utilizados na engenharia civil, não apenas apresentando melhoras a qualidade final de determinado produto, como tratando de maneira mais sustentável o descarte de resíduos de outras produções.

Para estudos futuros, sugere-se a avaliação do comportamento dos blocos a partir de maiores teores de mistura de resíduo de pó de MDF calcinado e um natura, chegando até a casa de 10%, fazendo as comparativos entre os teores em buscar do teor ótimo de adição de mistura que pode ser incorporada ao bloco.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30:** Determinação da absorção d'água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____.**NBR NM 248** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____.**NBR 15270** Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos de vedação. Rio de Janeiro, 2005.

FARAGE, R.M.P. **Aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos gerados no polo moveleiro de Ubá para fins energéticos.** 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFOP, Ouro Preto, 2009.

GARCEZ, Mônica. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com adição de serragem em substituição ao agregado miúdo.** UFPel, Pelotas, 2013.

MAFFESSONI, D. **Análise da situação ambiental das indústrias do polo moveleiro de Bento Gonçalves.** 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

SILVA, Amanda. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do Ceará**. Da extração da matéria-prima à fabricação. Dissertação - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM CONCRETOS

**Letícia Radin**
**Gabriela Caron**
**Gabriel Dalla Vechia**
**Suelen Cristina Vanzetto**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim
letiradin@hotmail.com
gabrielamcaron@hotmail.com
gabriel-ldv@hotmail.com
suelen@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O planeta vive um momento delicado, onde discussões englobando a poluição e a degradação ambiental passaram a estar mais presentes na sociedade. Na construção civil não é diferente. A extração de recursos naturais como areia vem prejudicando leitos de lagos e rio, bem como, seus arredores. Destacam-se, então, novas tecnologias criadas para tentar combater a destruição e o desperdício abusivo de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Isto posto, a substituição da areia natural por areia de britagem mostra-se uma opção sustentável. Portanto, no presente trabalho efetuou-se a análise o emprego de areia industrial em substituição parcial (0%, 25% e 50%) a areia natural no concreto convencional. Para isso, foram realizadas a análise dos concretos, aos 28 dias, no estado fresco, no estado endurecido e, por fim, a avaliação da influência do teor de substituição do agregado miúdo natural pelo industrial. A partir dos resultados de caracterização é possível afirmar que tanto a areia natural quanto a areia industrial são classificadas como médias, apresentando comportamento semelhante. A eficiência dessa substituição foi comprovada nos ensaios de resistência à compressão uniaxial, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção por capilaridade. O concreto com substituição de 50% obteve resultados superiores ao concreto referência em todos os ensaios realizados. Dessa forma, é viável a substituição parcial de areia natural por areia industrial, desde que a substituição com teor de 50% apresentou valores acima dos apresentados pela referência e também promove destino ao resíduo, diminuindo o impacto ambiental.*

***Palavras - chave:*** *Areia natural. Areia industrial. Concreto.*

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de bens minerais pelo homem é tão antiga quanto sua história, o que pode ser observado no registro das atividades humanas, que buscam suas referências iniciais na dependência do homem em relação aos recursos minerais. (SINTONI, 2003).

A mineração é uma das atividades humanas que mais contribui para a alteração da superfície terrestre, afetando a área lavrada e os seus arredores, causando impactos negativos sobre a água, o ar, o solo, o subsolo, a flora, a fauna, e a paisagem como um todo. Por outro lado, tem grande alcance social, na medida em que, como todo empreendimento econômico, está ligado à geração de emprego e renda (LELLES, 2004).

De acordo com o Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG), cerca de 10 toneladas/ano de produtos do reino mineral são consumidos direta ou indiretamente por pessoa, abrangendo 350 espécies minerais distintas. Um exemplo é o seu uso na construção civil através dos materiais usados na construção de edificações, como blocos, argamassas e concretos.

Isto posto, concretos são os materiais mais consumidos no mundo, sendo basicamente o resultado da mistura de cimento, água, pedra e areia. Enquanto o cimento é chamado de aglomerante, a pedra e a areia são denominados respectivamente, agregado graúdo e agregado miúdo (ITCG). Os agregados representam grande parte do volume do concreto, e podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os que podem ser encontrados na natureza e os artificiais são produzidos por meio de algum processo industrial.

O agregado natural é mais comumente utilizado na cadeia da construção civil desde os primórdios da construção civil. Porém, agregados artificiais surgem como alternativa para substituir o agregado natural.

Já o agregado miúdo proveniente de processos industriais, é chamado de areia industrial. Chamada também de areia de britagem, é gerada nas instalações de britagem como produto do processo de cominuição de rochas. E pode ou não passar por lavagem para retirada de finos antes de utilizadas como material de construção.

O uso abundante de agregado miúdo tem gerado preocupações no cenário ambiental. Atualmente, as jazidas de extração de areia estão desgastadas ou já estão em extinção. A exploração está causando desgaste devido a várias ações humanas desordenadas, causando a revisão de várias restrições ambientais, sendo uma delas, a da extração de areia natural. Dessa forma, a areia industrial é um dos materiais que pode atender as especificações necessárias para substituir à areia natural, atendendo a grande demanda dos setores que utilizam a mesma.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada na realização deste trabalho foi experimental e comparativa, com o objetivo de analisar a influência da utilização da areia industrial em substituição parcial a areia natural em concretos convencionais.

Após o estudo preliminar que compreendeu a revisão bibliográfica do tema, realizou-se a caracterização de todos os materiais utilizados. Definiu-se o traço e os teores de substituição estudados. Para os concretos fabricados, foram realizados ensaios de abatimento de tronco de cone. Após 24hs foi feita a desmoldagem dos CP's, os quais foram colocados na câmara úmida. Então, após 28 dias foram realizados os ensaios no estado endurecido. Todos os procedimentos foram realizados no Laboratório de Preparação de Amostras Técnicas Construtivas da URI - Erechim/RS.

Para a avaliação do comportamento dos concretos no estado endurecido foram realizados ensaios de resistência à compressão uniaxial e módulo de elasticidade. Foi definido os teores de referência (sem substituição) 25% de substituição e 50% de substituição.

A tabela 1 apresenta o programa experimental empregado nessa pesquisa, junto com o número de CP's que foram moldados em cada ensaio proposto.

Tabela 1 - Programa Experimental da Pesquisa

| | **Fatores de controle** | **Variáveis de Resposta** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Concretagem** | Teor de Adição (%) | Ensaio | Norma | Idade do ensaio (dias) | Nº de CP's |
| **1**<br>**2**<br>**3** | 0<br>25<br>50 | Resistência à compressão uniaxial | NBR 5739/2007 | 28 | 12 |
| **1**<br>**2**<br>**3** | 0<br>25<br>50 | Módulo de Elasticidade | NBR 8522/2008 | 28 | 9 |
| **Total de CP's** | | | | | 21 |

### 2.1 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi feita conforme as especificações da NBR 5738 (2003). Os mesmos foram moldados em formas cilíndricas com dimensões de 10 x 20 cm, untadas por desmoldante. Essas formas tem como finalidade a redução de perdas da pasta de cimento e de variabilidade dimensional de cada traço. A areia de britagem foi adicionada em teores de 0%, 25% e 50%, e os ensaios para a verificação das propriedades do concreto foram realizados aos 28 dias.

#### 2.1.1. Ensaio no estado fresco

É um ensaio que tem como objetivo determinar a consistência e a fluidez do concreto no estado fresco por meio da medição de seu assentamento, que neste caso será realizado em laboratório. Também é muito conhecido pelo nome de *slump test*.

A realização do mesmo deu-se através do uso de um molde em formato de tronco de cone colocado sobre uma placa base. Esse molde foi preenchido com três camadas de concreto, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde. Após a colocação de cada camada foi feita a compactação da mesma com 25 golpes de uma haste de socamento. Após a compactação da terceira camada removeu-se os excessos e retirou-se o molde de concreto na direção vertical de maneira cuidadosa e com um movimento constante em um tempo entre 5 a 10 segundos.

O teor referência apresentou abatimento de 110 mm, o teor de 25% também abatimento de 110 mm. Enquanto o teor de 50% apresentou de 100 mm. Todos os valores dentro do abatimento requerido de tronco cone, que é de 100 ± 20 mm.

#### 2.1.2. Ensaios no estado endurecido

##### *2.1.2.1. Resistência à compressão uniaxial*

Ensaio normatizado que determina o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto.

Os corpos de prova possuíam dimensões de 10 centímetros de diâmetro por 20 centímetros de altura. As medidas de resistência foram feitas aos 28 dias de idade de cura dos concretos. Para realização desse ensaio foram necessários corpos de prova e uma prensa hidráulica que impôs uma força de compressão sobre a face inferior e a face superior dos mesmos até a ruptura.

##### *2.1.2.2. Módulo de elasticidade*

Ensaio que estabelece um método para a determinação do módulo estático da elasticidade à compressão do concreto endurecido, em corpos de prova cilíndricos que podem ser moldados ou extraídos da estrutura. Este ensaio pode ser definido como sendo a relação entre a tensão aplicada e deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado. Foram submetidos 3 corpos de prova de cada teor para esse ensaio.

### 2.2. Tratamento Estatístico

Para maior confiabilidade nos dados, foi realizado um tratamento estatístico nos resultados deste estudo através da aplicação do método de variância simples (*One Way* ANOVA). Esta análise é proposta com significância estatística com 95% de confiança. Utilizando um software, buscou-se avaliar se os fatores de controle causaram efeitos significativos na variável de resposta medida.

Os dados obtidos foram, então, submetidos ao teste de Tukey para determinar se os mesmos são estatisticamente iguais ou diferentes. O teste Tukey, por sua vez, é utilizado para testar toda e qualquer diferença significativa entre duas médias de tratamento por meio da construção de intervalos de confiança para as médias, de tal forma que o conjunto destes tenha um grau de confiança de 95%.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A resistência a compressão é o principal critério de estudo e caracterização do concreto, pois está associada à capacidade do elemento em resistir aos esforços sem entrar em ruptura. A tabela 2 apresenta os resultados da resistência à compressão uniaxial média aos 28 dias, do coeficiente de variação e do desvio padrão, para seus respectivos teores.

Tabela 2 - Resistência à compressão uniaxial aos 28 dias

| **Teor de adição (%)** | Média compressão uniaxial (MPa) | Desvio padrão | Coeficiente de variação |
|---|---|---|---|
| **0** | 17,40 | 0,59 | 3,37 |
| **25** | 16,76 | 2,76 | 16,49 |
| **50** | 21,45 | 2,20 | 10,25 |

Analisando os resultados, observa-se que a resistência à compressão uniaxial para o teor de adição de 25% obteve um decréscimo de 3,68% em relação ao valor referência. Já, a resistência média do teor de 50% aumentou 23,28% perante o teor 0%.

A figura 1 mostra a influência do teor de substituição de areia britada sobre a resistência à compressão uniaxial dos concretos a partir da análise estatística, onde os valores que se apresentam estatisticamente significativos possuem um nível de significância menor que 5%.

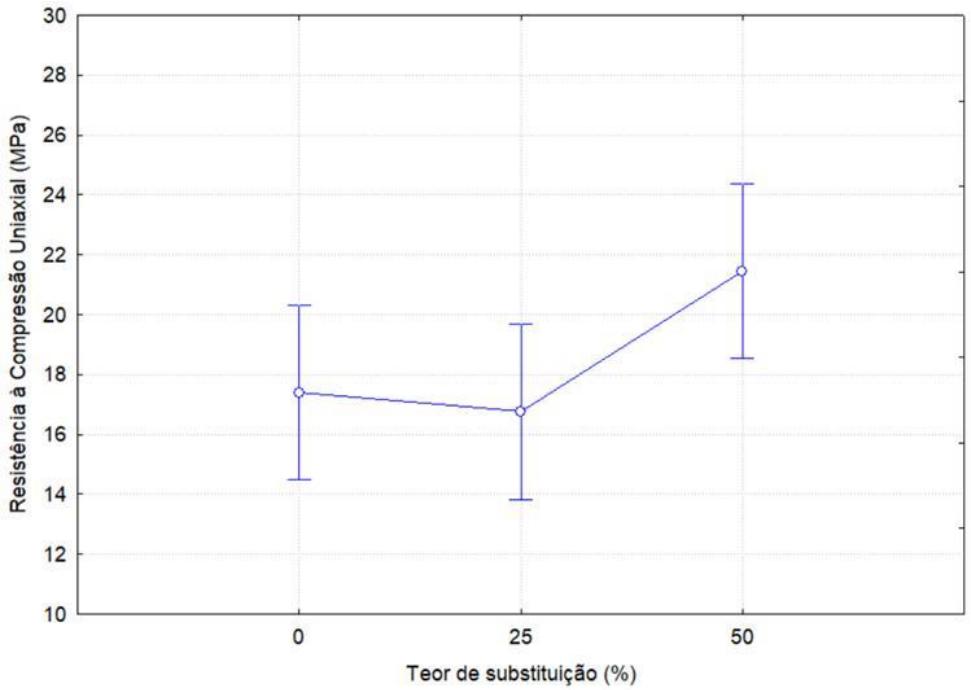



Figura 1 - Efeito do teor de areia britada na resistência a compressão

Através da figura 1, observou-se que não houve diferença significativa entre os teores de 0%, 25% e 50%. No entanto, o teor de 25% apresenta resistência média inferior à referência. Já para o teor de 50%, a resistência mostra-se superior ao traço referência. Isto ocorre pelo correto empacotamento das partículas dos agregados miúdos na mistura junto aos demais materiais, minimizando a porosidade.

Em um concreto de cimento Portland, existem poros dentro dos próprios agregados, na interface pasta/agregado e na pasta de cimento. É por meio desses vazios que os agentes agressivos (gases, líquidos e sólidos dissolvidos) se movem através da pasta de cimento endurecida; conseqüentemente, a porosidade funciona como uma ponte que liga a distribuição granulométrica e as propriedades do material. Assim, a porosidade e a estrutura de poros da pasta de cimento são de grande importância para o desempenho de compósitos à base de cimento quando no estado endurecido, influenciando todas as suas propriedades (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

Partículas muito finas atuam de maneira a preencher os espaços vazios que existem entre as partículas maiores, gerando um aumento na densidade de empacotamento, diminuindo a quantidade de água necessária no processo e ajudando a aumentar a resistência mecânica (GEROTTO *et al.*, 2000).

De acordo com o método de Tukey, que avalia a diferença significativa entre duas médias de tratamento e, assim, analisando os dados obtidos na pesquisa, pode-se considerar que os teores de 0%, 25% e 50% são estatisticamente iguais entre si. Portanto, o teste mostra que um teor pode ser substituído pelo outro sem perder suas características.

O Módulo de elasticidade é a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente. Na tabela 3, a seguir, encontram-se os resultados obtidos no ensaio de módulo de elasticidade.

Tabela 3 - Módulo de elasticidade aos 28 dias

| Teor de adição (%) | Média do Módulo de Elasticidade (GPa) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---|---|---|---|
| **0** | 28,95 | 1,16 | 4,04 |
| **25** | 28,47 | 1,15 | 4,04 |
| **50** | 30,75 | 0,64 | 2,07 |

Analisando-se na tabela 3 os valores encontrados para o módulo de elasticidade, pode ser percebido que houve um decréscimo de 1,65% no teor 25% em comparação ao teor 0%. Em contrapartida, observou-se um acréscimo de 6,22% do teor 50% em relação a referência.

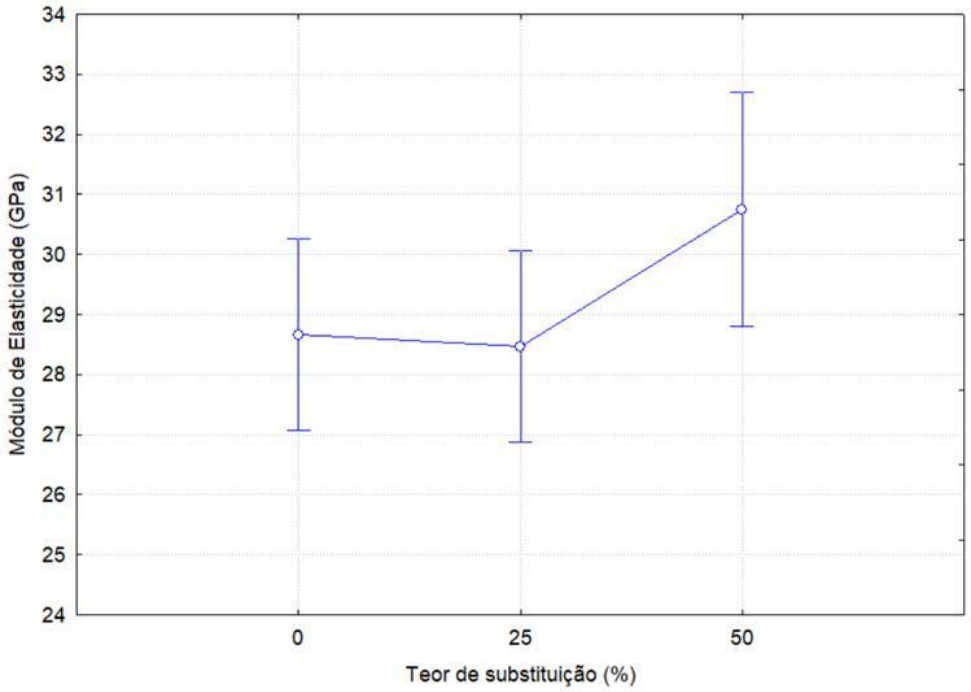



Figura 2 - Influência da substituição de areia britada no módulo de elasticidade

Na Figura 2 observa-se que, para o módulo de elasticidade, houve uma diminuição não significativa para o teor de 25%, com 28,47 GPa em relação ao teor de referência 0% com 28,95 GPa. Já o teor de 50% teve um aumento significativo para 30,75 GPa.

No concreto, existe uma a relação direta entre resistência e módulo de elasticidade, desde que ambos são afetados pela porosidade. Isto se deve ao fato de que a porosidade do agregado determina a rigidez do concreto e controla a capacidade de restringir a deformação da matriz, sendo que quanto maior a quantidade de agregados densos na mistura, maiores serão os valores para o módulo de elasticidade (MEHTA; MONTEIRO, 2009).

Analisando por meio do teste Tukey, observa-se que os teores de substituição de 0%, 25% e 50% são estatisticamente iguais. Portanto, em relação ao módulo de elasticidade, a diferença não foi significativa.

## 4. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, o objetivo foi estudar a viabilidade da utilização da areia industrial em substituição parcial a areia natural na produção de concretos convencionais, visando a obtenção de um produto que cause um menor impacto ambiental para a sociedade.

Com relação à propriedade mecânica da resistência à compressão uniaxial, o melhor resultado obtido foi do teor de substituição de 50%, atingindo uma resistência média de 21,45 MPa, superior a resistência do concreto referência.

Para o ensaio de módulo de elasticidade, o teor de 50% obteve melhores resultados em relação aos outros teores, com resultado de 30,75 GPa. Enquanto o teor de 25% apresentou resultados inferiores ao teor referência nos ensaios realizados.

Os resultados do teor de substituição de 50% são devido ao correto empacotamento das partículas, que está diretamente relacionado ao tamanho das mesmas e a quantidade de material pulverulento, fazendo com que seja produzido um concreto com maior compacidade.

Portanto, a substituição de areia natural por areia britada é viável, devido ao observado nos ensaios e aos resultados obtidos dos mesmos. O concreto com teor de 50% de areia britada, além de apresentar resultados superiores ao concreto referência, evita o descarte inadequado desse rejeito no meio ambiente e contribui para seu uso sustentável.

## 5. REFERÊNCIAS

LELLES, L. C. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais oriundos da extração de areia em cursos d'água.** Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: PINI, 2009.

SINTONI, A. et al. **Importância dos Recursos Minerais.** Mineração e Município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais. São Paulo: Instituo de Pesquisas Tecnológicas, 2003.

ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, 2019. Disponível em:
<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=28> Acesso em: 14/04/2019.

CASTRO, A. L. de; PANDOLFELLI, V. C. **Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil, 2009.** Departamento de Engenharia de Materiais - DEMa, Universidade Federal de S. Carlos, S. Carlos, SP.

GEROTTO, M. V.; PILEGGI, R. G. e PANDOLFELLI, V. C. **Resistência mecânica a quente de concretos refratários aluminosos zero-cimento auto-escoantes contendo adições de microssílica e microssílica coloidal.** Cerâmica [online], 2000.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS: ESTUDO DE CASO

**Guilherme Diego Bulau**
**Cristina Vitorino da Silva**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
guibulau@gmail.com, cristina@uricer.edu.br

**Dionathan Lucas Zulian Mattes**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
dl4mattes@hotmail.com

**Guilherme Zorzi Andrighi**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
guilherme.andrighi@hotmail.com

**João Paulo Giacomolli**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
jp.giacomolli@hotmail.com

**Murilo Henrique Roll**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
muriroll@hotmail.com

**Victor Manoel Passaglia**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
vpassaglia@hotmail.com

***Resumo:*** *As manifestações patológicas estão presentes na maioria das edificações, o que pode preocupar os usuários, principalmente quando são visivelmente identificadas. Desta forma, os revestimentos têm grande importância na vida útil da construção, pois funcionam como protetores e ainda são responsáveis por tornar os ambientes mais agradáveis. As manifestações mais comuns nos acabamentos muitas vezes são decorrentes da umidade, variação de temperatura ou ainda erro no método construtivo. Estes problemas são recorrentes em grande parte das edificações, e podem ser evitados na fase de execução ou de projeto, por este motivo também, criaram-se tratamentos específicos para reparação das zonas afetadas, como forma de evitar o reaparecimento de tais manifestações. Neste trabalho, por meio de três estudos de caso, são apresentadas as manifestações patológicas existentes em cada obra visitada, bem como a origem ou causas destes problemas e o tratamento sugerido para reparo. As principais manifestações patológicas encontradas no estudo foram fissuras, descolamento, infiltrações e vesículas, causadas em sua maioria pela má execução, baixo controle de qualidade e falta de reparos.*

***Palavras chave:*** *Manifestações patológicas. Revestimentos. Acabamentos. Edificações. Reparo.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos possuem como função primordial proporcionar um aspecto agradável à construção, protegendo-a de intempéries, minimizando a degradação dos materiais de construção e proporcionando segurança e conforto aos usuários. Em contrapartida, são nos revestimentos que surgem a maioria das manifestações patológicas presentes nas edificações. Nos dizeres de Do Carmo (2003), dentre as manifestações mais comuns estão as manchas, bolores, deslocamentos, fissuras, desagregação e vesículas, problemas que não interferem no desempenho estrutural da edificação, porém causam grande insatisfação aos usuários, gerando sensação de desconforto ao conviver com estes ambientes tidos como insalubres. As anomalias em revestimentos são ocasionadas por uma soma de fatores, que atuam de forma conjunta, tais como falhas em projeto, falhas executivas (desde o armazenamento dos materiais, até a cura), escolha de materiais inadequados e/ou de má qualidade.

Outro fator relevante no estudo das manifestações patológicas passa pela falta de reparos e manutenção. De Milito (2016) ressalta que os danos nem sempre aparecem em toda a edificação, mas normalmente em pontos onde o fenômeno que os originou é mais favorecido. Nestes casos, o usuário tende a executar pequenos reparos, sem preocupação com as causas. Em consequência, o fenômeno alastra-se progressivamente, às vezes por longos períodos de tempo, solicitando um reparo constante e antieconômico se comparado à uma execução completa. Por isso, é necessária a identificação das causas e da extensão do dano para decidir a solução ideal a ser adotada.
Diante dos fatos apresentados, no presente trabalho foi realizado um estudo de caso, utilizando-se da Metodologia PBL - Aprendizagem Baseada em Problema, com o intuito de identificar manifestações patológicas em revestimentos de três edificações diferentes e apontar as possíveis causas para os mesmos.

## 2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Uma edificação passa por diversas etapas em sua existência, como projeto, escolha de materiais, execução e, posteriormente, sua utilização. Neste caminho, falhas ou erros poderão originar manifestações patológicas. Com o intuito de melhorar os padrões de qualidade na construção civil, a NBR 15575/2013 delimita os requisitos mínimos do padrão de qualidade, habitabilidade, manutenibilidade e uso de edificações habitacionais. Ademais, a NBR 6118/2014 também aumentou a vida útil para as novas construções, logo observa-se a necessidade de construir com qualidade desde a concepção do projeto da obra até a sua conclusão. O usuário também deve exigir do construtor um plano de manutenções de sua edificação e agir realizando o que lhe foi orientado (HELENE, 2003 apud FERREIRA, LOBÃO, 2018; RIOS et al, 2017). Como exposto, este trabalho objetiva o estudo das manifestações patológicas em revestimentos, fazendo-se necessário, portanto, definir os tipos de manifestações patológicas encontradas.

### 2.1 Descolamentos em revestimentos argamassados

A NBR 13529 (1995) define o revestimento de argamassa como cobertura de uma superfície com uma ou mais camadas de argamassa, propício a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final. Os descolamentos ou desplacamentos são definidos pela separação de uma ou mais camadas (base, emboço, reboco) do revestimento, abrangendo desde grandes a pequenas áreas ou ainda totalizando as mesmas (DA SILVA, 2016). Os principais motivos para a ocorrência de descolamentos em revestimentos argamassados são a baixa aderência entre o revestimento e a base, problemas no traço da argamassa, técnicas de execução incorretas, variações climáticas e ainda infiltração da umidade (PEREIRA, 2007, apud CARASEK, 1996). Segundo Bauer (1997) existem três formas distintas de classificar estas manifestações: por empolamento, pulverulência ou em placas.

O descolamento por empolamento é caracterizado por bolhas superficiais ocorrentes em revestimentos argamassados com tendência de aumento progressivo de seu diâmetro ao longo do tempo (SEGAT, 2005). Estas bolhas ou empolas são causadas pelo retardo de hidratação de alguns óxidos presentes na argamassa que mesmo após a conclusão da obra ainda podem reagir e causar expansão (BAUER, 1997). A infiltração de umidade ainda pode causar a hidratação parcial da cal, o que também causa o aumento de volume da argamassa, afirma Cincotto (1988).

Segundo Segat (2005) o descolamento com pulverulência é identificado pela desagregação da argamassa, juntamente com a pintura, ao ser pressionada manualmente. Aponta como principais causas a falta de aglomerantes, excesso de cal no traço e ainda a não total carbonatação do mesmo causado principalmente por grandes espessuras de reboco e também aplicação da pintura sem respeitar o tempo de cura adequado.

Freitas (2013) cita sobre descolamentos, da argamassa já no estado endurecido, em placas, onde a principal causa é a falta de aderência da base, má aplicação do chapisco, com areia fina, ou até a ausência do mesmo. Ainda podem ocorrer por ser muito espessa, traço rico e falta de molhagem na base, assim comprometendo a hidratação do cimento.
Masuero (2016) salienta que para evitar os descolamentos devem ser realizados procedimentos de preparo da base, como tratamentos das superfícies de concreto e aplicação do chapisco, além de garantir que não exista nenhum tipo de contaminação no local da aplicação utilizando argamassa e seus constituintes adequados.

### 2.2 Manchas, Mofo e Bolor (Matéria Orgânica)

A umidade é um dos principais agentes contribuintes para a ocorrência de manifestações patológicas em revestimentos. Uma das manifestações decorrente dela é o desenvolvimento de colônias de bactérias e/ou fungos, marcando as superfícies com tonalidades em preto, marrom e tons de verde, ocasionalmente podendo aparecer cores amarelas e esbranquiçadas decorrentes de fungos menos comuns. Além de problemas estéticos, a proliferação destes organismos pode causar danos respiratórios aos frequentadores do local, prejudicando a saúde dos mesmos (SEGAT, 2005).

Shirakawa et. al. (1995) afirmam que, em consequência de as colônias de bactérias e fungos necessitarem de água para seu desenvolvimento, a umidade tem interferência direta neste tipo de manifestação e também cita quais tipos de umidade podem ocorrer: umidade relativa do ar, infiltração acidental (vazamentos), ascendência por capilaridade (águas

provenientes do solo), infiltração por fissuras, fachadas e telhados (aberturas que permitem a passagem de chuvas), condensação em ambientes fechados com falta de ventilação e exposição ao solar.

### 2.3 Fissuras e Trincas

A norma ABNT NBR 9575 (2010) define microfissura, fissura e trinca como sendo aberturas devido a ruptura de material, a primeira com dimensão menor que 0,05 milímetros, a segunda com dimensão menor ou igual a 0,5 milímetros e a terceira com abertura superior a 0,5 milímetros e inferior a um milímetro.

As fissuras têm como causa principal a acomodação dos materiais e elementos da construção ou ainda pelo resultado de vibrações. Elas são classificadas de acordo com a profundidade e características da abertura, podendo ser fissuras (aberturas estreitas e alongadas na superfície de um material), trincas (aberturas mais profundas e acentuadas) ou rachaduras (aberturas grandes, profundas e acentuadas) (CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA, 2018). Thomaz (1989) cita ainda, como causas principais, a movimentação térmica, a movimentação higroscópica, a atuação de sobrecargas, a deformabilidade excessiva da estrutura, recalque de fundações, a retração de produtos à base de cimento e alterações químicas de materiais.

A formação de fissuras e trincas, em revestimentos argamassados, se relacionam principalmente aos diferentes coeficientes de dilatação térmica e variação higroscópica que cada material envolvido na edificação apresenta, motivado nestes casos pela ação direta da temperatura e da umidade.

### 2.4 Vesículas

As vesículas são manifestações patológicas que geram bolhas e variações volumétricas nas regiões onde se encontram, originadas pela presença de pedras de cal mal hidratada, matéria orgânica, torrões, pirita e torrões ferruginosos na pasta (BAUER, 1997). Verçosa (1991) define vesículas como deslocamentos pontuais que podem aparecer em forma de bolhas no reboco, chegando a até 7 cm de diâmetro na estrutura.

Para Mitidieri Filho (1995), a principal causa desses problemas são as falhas no reboco provenientes dos óxidos não hidratados existentes nas cales dolomíticas, onde acontece a hidratação após estar localizada na estrutura, se expandindo e fazendo com que ocorra variações volumétricas nos locais.

Cincotto (1998) classifica as vesículas dependendo do que é encontrado na sua parte interna. Onde há empolas na cor branca, significa que a causa foi a mal hidratação da cal; já se houver a coloração preta, a causa é a presença de pirita ou matéria orgânica na areia; e se a coloração for avermelhada estará relacionada a concreções ferruginosas.

### 2.5 Descolamentos de revestimentos cerâmicos

Os revestimentos cerâmicos estão entre os mais usados na construção civil, com diversas possibilidades de aplicação, alta durabilidade e variedade de estampas, sejam comerciais ou residenciais (SILVA et. al., 2015). Segundo Ferreira e Lobão (2018), os destacamentos são caracterizados pela perda de aderência das placas cerâmicas do substrato, ou da argamassa colante, quando as tensões surgidas no revestimento cerâmico ultrapassam a capacidade de aderência das ligações entre a placa cerâmica e argamassa colante e/ou emboço.

Gorini e Corrêa (1999), destacam alguns dos principais defeitos relacionados ao assentamento e a outros fatores de processo:

- Eflorescência: é causada pelo excesso de umidade na parede ou contrapiso, com aparecimento de manchas brancas ou escuras na superfície das peças ou entre os rejuntes;
- Destacamento: ocorre após o assentamento do revestimento e é causado pela dilatação/retração do contrapiso e pela falta de junta ou outros fatores distintos;
- Gretamento: acontece quando o esmalte se rompe devido à incompatibilidade de dilatação entre a base e o esmalte, agravada pela variação de umidade e temperatura;
- Desgaste do esmalte prematuro: é causado pela especificação errada na produção.

## 3. METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado utilizando-se da metodologia ativa PBL (Problem Based Learning) ou Aprendizagem Baseada em Problema, onde adotou-se o Método do Arco, apresentado por Charles Maguerez, esquema que perpassa pelas seguintes etapas: Observação da Realidade, Pontos-Chave, Teorização, Hipóteses de Solução e Aplicação à Realidade (prática) (BERBEL, 1998).

Para elaboração deste trabalho, realizou-se análises de campo em dois edifícios residenciais/comercial na cidade de Erechim-RS e em um edifício comercial na cidade de Itatiba do Sul-RS. As análises tiveram como objetivo a identificação, através de inspeção visual e documentação fotográfica, dos cômodos e/ou ambientes que apresentavam manifestações patológicas em revestimentos. Fez-se, ainda, entrevistas investigativas com os proprietários e/ou frequentadores das

edificações, com a finalidade de obter informações pertinentes ao estudo de caso, como por exemplo, o acesso aos projetos, o tipo de utilização dos ambientes e a idade da obra.

Com base nas informações obtidas e com os conhecimentos adquiridos na disciplina de patologia das construções, buscou-se identificar as possíveis causas das manifestações patológicas apresentadas, bem como as possíveis medidas corretivas para solucioná-las.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e análises dos estudos de caso, das três obras analisadas.

### 4.1 Edifício Residencial e Comercial

Como forma de estudo, realizou-se visita técnica a um edifício residencial e comercial de dois pavimentos na região central de Erechim-RS, no dia 07 de abril de 2019. A construção, situada na rua Rui Barbosa, data aproximadamente 60 anos desde sua conclusão, apresentando elevado grau de degradação dos revestimentos internos e externos. Por ser uma edificação relativamente antiga, não foi possível determinar as características construtivas, inexistindo, para tanto, projetos específicos referentes à construção.

A partir da inspeção visual foi possível identificar previamente a presença de fissuras e descolamento por empolamento (Figura 1) na fachada do edifício, causados, a priori, pela contínua exposição ao sol, intempéries e a poluição urbana. Destaca-se a presença de umidade no peitoril do edifício que advém de infiltrações do terraço, localizado no segundo pavimento da edificação, onde apresenta como principal causa a má execução da impermeabilização.



Figura 1. Fissuras e descolamento
Fonte: Autores, 2019

O tratamento corretivo do descolamento da argamassa primaria pela execução corretiva da impermeabilização, prevendo o embutimento da mesma na alvenaria quando em cantos e o reforço em tubulações passantes, de forma a evitar a infiltração de água. Prevenindo a presença de água, sucede-se o tratamento do peitoril com a remoção de todo revestimento argamassado e limpeza da base - removendo possíveis impurezas e contaminantes - com posterior reaplicação do revestimento, com chapisco emboço e reboco garantindo a microancoragem entre base e substrato. Já para as fissuras, que apresentam como principal causa a dilatação térmica, recomenda-se a aplicação de tela estuque acompanhado de um novo reboco com argamassa para emboço externo e aplicação de veda trinca à base de poliuretano nas fissuras mais rasas.

Internamente, a edificação apresenta um grande número de infiltrações (Figura 2) nas paredes das fachadas. Tal manifestação patológica é proveniente da água que infiltra nas marquises. A constante incidência de sol na fachada beneficia externamente a parede, onde ocorre a rápida secagem da umidade de infiltração. Internamente, no entanto, a secagem não acontece de forma tão rápida, decorrente da elevada espessura das paredes, propiciando um grande diferencial de temperatura entre ambientes e o surgimento de umidade por infiltrações.



Figura 2. Infiltração
Fonte: Autores, 2019

Os tratamentos corretivos para as infiltrações iniciam-se pela execução de uma barreira estanque através da impermeabilização das marquises. Posteriormente procede-se para o tratamento das áreas afetadas com a remoção e substituição do revestimento argamassado e da pintura.

### 4.2 Edifício Residencial

A inspeção visual na unidade residencial e comercial, na cidade de Erechim-RS, foi realizada no dia 11 do mês de abril do presente ano (2019). Localizada na rua Machado de Assis, a construção tem pouco mais de 20 anos desde sua conclusão, possui quatro pavimentos sendo o primeiro, garagem e sala comercial, e os demais, 2 apartamentos por andar. As manifestações patológicas encontradas são decorrentes de erros no método construtivo, porém nenhuma delas compromete a estrutura da edificação, mas causa desconforto aos moradores e frequentadores.

Na garagem do edifício, são reconhecidos problemas de descolamento por empolamento, conforme a Figura 3, o que pelo local e pela formação, são resultantes de umidade ascensional, que causa hidratação tardia e parcial da cal com formação de bolhas e descolamento do revestimento. Destaca-se que o tardoz da parede é aterrado, logo a impermeabilização, se realizada, não possui um bom desempenho. Para o tratamento é sugerido a impermeabilização das superfícies das paredes ou ainda processos de tratamento da base da mesma, como aplicação de produtos cristalizantes, betumes com elastômeros ou mantas de poliéster.



Figura 3. Descolamento por empolamento
Fonte: Autores, 2019

Após realizado os processos de tratamento das causas da manifestação, pode-se realizar os reparos adequados das regiões que sofreram com o problema. Inicialmente são removidas as camadas de revestimento, avançando um pouco além do afetado para que não corra risco de resquícios da umidade, o que implicaria na volta da expansão. Feito isso são realizados novamente o preparo da base de forma adequada, o chapisco com traço ideal para o local e se caso necessário o apicoamento. Posteriormente são aplicados o emboço e o reboco caso dispostos desta forma, lembrando que sempre devem ser respeitados os tempos de cura de cada processo, para que não interfira na hidratação dos componentes da argamassa e venham a ocasionar novamente o problema. Como finalização, pode ser aplicada a pintura.

A Figura 4, apresenta uma manifestação que é identificada como fissura, e devido a sua localização é decorrente da falta de contra-verga nas aberturas causando acúmulo de tensões nas extremidades. Para o tratamento deve-se abrir a

fissura em forma de “V”, por meio do disco de corte, remover o acabamento numa faixa de 20 centímetros em torno da fissura, aplicar duas camadas de selante acrílico aguardando o tempo de 48 horas na primeira e 24 horas da segunda, posteriormente aplicar o impermeabilizante acrílico e esperar sua secagem por 6 horas. Como próximo passo, pode ser refeito o acabamento atentando para a pintura que deve ser realizada com tinta acrílica a base de látex.



Figura 4. Fissuras
Fonte: Autores, 2019

### 4.3 Edifício Comercial

No dia 04 de abril de 2019, realizou-se uma visita técnica a Prefeitura Municipal de Itatiba do Sul, a qual se localiza na Av. Antonillo Ângelo Tozzo, região central da cidade. A edificação tem aproximadamente 50 anos desde sua inauguração, fazendo com que seus revestimentos estejam com acentuada degradação. Como se trata de uma obra antiga, não apresenta projetos de sua construção, não sendo possível identificar os métodos construtivos realizados na época.

Uma das manifestações patológicas presentes são vesículas (figura 5), caracterizadas pela formação de bolhas no reboco, causadas pela má hidratação da cal ou na presença de impureza nos agregados. O local é um ambiente que não apresenta incidência de luz solar, o que justifica a presença de ar úmido no ambiente e o surgimento de tal manifestação. Desta forma é necessário preventivamente diminuir ou remover a umidade presente no ambiente, para então, como forma de tratamento realizar a remoção da camada de revestimento afetada e proceder com a ação corretiva da mesma.



Figura 5. Vesículas em revestimento argamassado
Fonte: Autores, 2019

A Figura 6, apresenta registros realizados no banheiro da edificação, onde são verificados descolamentos de revestimentos cerâmicos, causados pela má execução na aplicação da argamassa colante, que não conferiu aderência às peças. Percebe-se também, que há um descolamento de várias peças no entorno, o que possivelmente irá gradativamente comprometer todo o painel cerâmico. Na peça da Figura 6.b) percebe-se que há presença de mofo que se infiltra com a umidade atrás das peças. Para reparar as manifestações apresentadas, é necessário a remoção de todas peças cerâmicas e argamassa colante, limpar a base e prepará-la para a aplicação de uma nova argamassa colante, sendo que esta deve ser aplicada nos dois sentidos, realizar o assentamento das peças novas e posteriormente realizar o rejuntamento.



Figura 6. a) Descolamento de placa cerâmica; b) Peça descolada com presença de mofo
Fonte: Autores, 2019

## 5. CONCLUSÃO

A partir do estudo apurou-se o elevado número de manifestações patológicas encontradas nas construções, principalmente em edificações mais antigas onde o nível de degradação se acentua. As manifestações encontradas foram fissuras, descolamentos, infiltrações e vesículas que referem-se principalmente a má execução, baixo controle de qualidade e pela falta de reparo e manutenção por parte dos proprietários.

Para tanto, por meio da aplicação da metodologia ativa PBL, foi possível atender aos objetivos propostos deste trabalho e determinar que todas as manifestações patológicas encontradas são passíveis de soluções, dependendo, muitas vezes, de um correto tratamento preventivo antes de executar o reparo estético, como forma de evitar o reaparecimento de tais problemas. Devido a avaliação dessas obras ser por meio de observações visuais, somente foi possível identificar manifestações patológicas superficiais aos revestimentos.

Destaca-se a importância em se trabalhar de acordo com as normativas vigentes, buscando qualidade no produto final, ou seja, executar desde o projeto até a conclusão da obra, levando-se em conta todas as especificidades da construção. Posteriormente, o construtor deve fornecer ao usuário um manual de uso, e o proprietário por sua vez deve também realizar seu papel, executando as manutenções preventivas. Deste modo, evitar-se-á ou irá se minimizar o surgimento de manifestações patológicas nas edificações.

## 6. REFERÊNCIAS

Alucci, M.P., Flauzino, W.D., Milano, S., 1988. *Bolor em edificações: Causas e recomendações*. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. De Edificações do IPT, São Paulo-SP, Brasil.

ABNT, 2010. *NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e Projeto*. Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

_____, 1995. *NBR 13529 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia*. Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

Bauer, R.J.F., 1997."Patologia em revestimento de argamassa inorgânica". Publicado no *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Salvador, Brasil.

Berbel, N.N., 1998. "A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos?" Interface-Comunicação, Saúde, Educação. 20 de Jun. 2019 <http://www.scielo.br/pdf/icse/v2n2/08.pdf>.

Carasek, H., 1996. *Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos – Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação*. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, São Paulo-SP, Brasil.

Chimelo P., Thomaz E., 2010. *Cupim consegue sobreviver dentro do concreto? É possível o inseto corroer o concreto até ele acabar? Qual a causa dos descolamentos de emboços das paredes (casas e apartamentos) e qual a solução para evitar esse tipo de problema?*. Pini, São Paulo-SP, Brasil.

Cincotto, M.A., 1988. *Patologias das argamassas de revestimentos: análises e recomendações*. Pini, São Paulo-SP, Brasil.

Civilização Engenharia, 2018. "Conheça as principais patologias na construção civil". 09 Jun. 2019 <https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2018/04/04/conheca-as-principais-patologias-na-construcao-civil/>.

da Silva, E.M., 2016. *Manifestações Patológicas em Revestimentos: Análise e Terapia*. Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria-RS, Brasil.

de Milito, J.A., 2016. "Patologias mais comuns em revestimentos". 22 de Mai. 2019 <http://demilito.com.br/10-patologia%20dos%20revest-rev.pdf>.

do Carmo, P.O., 2003. *Patologia das construções*. Programa de atualização profissional – CREA – RS, Santa Maria-RS, Brasil.

Ferreira, J.B., Lobão, V.W.N., 2018. *Manifestações patológicas na construção civil*. Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, UNIT, Aracaju-SE, Brasil.

Freitas, A.H.C.; França, P.M.; França, T.M., 2013. "Patologia de fachadas" Revista Pensar Engenharia. 22 Fev. 2019 <http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a106.pdf>.

Gorini, A.P.F; Correa, A.R., 1999. "Cerâmica para revestimentos" BNDES Setorial. 20 Jun. 2019 <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9535/2/BS%2010%20Cerâmica%20para%20Revestimentos_P_BD.pdf>.

Masuero, A.B., 2016. "Conheça as patologias associadas à argamassa de revestimento". 20 de Jun. 2019 <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/conheca-as-patologias-associadas-a-argamassa-de-revestimento_16459_10_16>.

Mitidieri Filho, C.V., 1995. *Cal na argamassa*. Téchne - Revista de Tecnologia da Construção, São Paulo-SP, Brasil.

Pereira, C.H.A.F., 2007. *Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa*. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil.

Rios, F., Loyola, D., Dutra, T., Lima, E., Sousa, E., 2017. "Manifestações patológicas construtivas em edificações no centro de Campina Grande-PB" Revista Tem@. 20 Jun. 2019 <http://revistatema.facisa.edu.br/index.php/revistatema/article/view/1018/pdf>.

Sartor, A.S., 2017. *Identificação das patologias internas de um edifício residencial no município de Alegrete/RS*. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), Universidade Federal do Pampa, Alegrete-RS, Brasil.

Segat, G.T., 2005. *Manifestações Patológicas Observadas em Revestimentos de Argamassa: Estudo de Caso Em Conjunto Habitacional Popular Na Cidade de Caxias do Sul*. Trabalho de Conclusão ao Curso de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre-RS, Brasil.

Shirakawa, M.A., Monteiro, M.B., Souza, S.S.M., Alba, C.A, 1995. "Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente". Publicado no *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Goiânia, Brasil.

Silva, M.N.P., Silva Marly N.P., Barrionuevo, B.U.S., Feitosa, I.F., Silva, Ginivaldo S., 2015. *Revestimentos Cerâmicos e suas aplicabilidades*. Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, UNIT, Maceió-AL, Brasil.

Silva, N.J.F., 2018. *Gerenciamento da qualidade: Acabamento em Revestimento Cerâmico*. Monografia para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras: Fundação Educacional de Ituverava-SP, Ituverava-SP, Brasil.

Thomaz, E., 1989. *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. Pini, São Paulo-SP, Brasil.

Verçosa, E.J., 1991. *Patologia das edificações*. Sagra, Porto Alegre-RS, Brasil.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DA UNIÃO DE CONCRETOS DE DIFERENTES IDADES COM USO DE ADESIVO DE NATA DE CIMENTO PARA TRATAMENTO SUPERFICIAL DO CONCRETO

**Emanuela Pansera**
**Higor Vinícius Strapasson**
**Karina Pereira da Cruz**
**Magda Luísa Tebaldi**
**Ronaldo Pagliarini Faccio**
**Cristina Vitorino da Silva**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
Emanuelapanseira.l@gmail.com, higor.strapasson@hotmail.com, karina_dacruz@hotmail.com, magda_tebaldi@yahoo.com.br, ronaldopfaccio@gmail.com, cristina@uricer.edu.br.

***Resumo:*** *A durabilidade das estruturas de concreto depende de manutenções preventivas que permitam o reparo e/ou reforço das matrizes cimentícias por meio de inúmeras técnicas que proporcionam prolongar a vida útil da estrutura, como é o caso a união de concretos em diferentes idades para o tratamento superficial do concreto. Este trabalho analisa o comportamento da zona da interface entre o concreto novo e velho por meio de análises teóricas e experimentais. Inicialmente, foram concretados e moldados os corpos de prova (cps's) cilíndricos (cimento CPV – ARI) realizando-se o processo de secagem e cura, sendo designado de "concreto velho". Em seguida, as amostras denominadas de 'concreto velho' foram divididas em dois grupos: superfície seca e úmida, onde foram apicoadas em sua superfície inclinada para posterior recebimento do tratamento superficial com o uso de adesivo de nata de cimento CP V – ARI e concretados novamente (concreto novo). Os novos corpos de prova permaneceram no processo de cura durante 28 dias, para posterior avaliação quanto à resistência à compressão. Os resultados identificaram que o tratamento superfícial foi satisfatório, atingindo o fck pretendido e apresentando um bom desempenho na união entre o concreto novo e concreto velho. O tratamento superficial mostrou-se mais eficaz em superfície seca com o uso de adesivo, atingindo uma maior resistência em relação aos demais.*

***Palavras chave:*** *durabilidade, manutenções preventivas, tratamento superficial.*

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (HELENE, et al. 2010).

Para Júnior Ribeiro (2015), o Cimento Portland caracteriza-se por ser o componente mais nobre do concreto, a mistura do cimento Portland com água gera uma pasta que envolve os agregados sendo responsável pelas propriedades de ligante. Atualmente, podemos encontrar diversos tipos de cimento Portland normatizado pela NBR, sendo que cada composição apresenta características específicas distintas favorecendo a qualidade do concreto.

Devido ao crescimento acelerado do setor da construção civil com o avanço da tecnologia, grande parte das construções atuais apresentam desempenho insatisfatório, devido a falhas involuntárias, imperícia, má utilização dos materiais, envelhecimento natural, erros de projeto, e principalmente a falta de manutenção preventiva promovendo a degradação da estrutura.

A ligação entre o concreto de reforço, concreto novo, e o concreto da peça a ser reforçada, concreto velho, é vital para garantir o comportamento conjunto da peça original e do reforço, ou seja, para que a peça reforçada trabalhe como uma peça monolítica (TRIGO, A.P, et al. 2010).

Considerando o exposto, este tema é de suma importância na formação acadêmica do Engenheiro Civil, a partir das técnicas praticadas na disciplina de Patologia das Construções, do programa de graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus Erechim, com práticas abordadas ao cenário atual da construção civil. Este trabalho tem como objetivo principal verificar o comportamento da aderência entres dois concretos com diferença de 28 dias, com a utilização de nata de cimento com diferentes tipos de tratamentos. Foram

avaliados os tratamentos em superfície seca e úmida, com a união do concreto novo ao concreto velho, sendo analisado as suas propriedades através do ensaio mecânico de resistência à compressão uniaxial.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Estudos da aderência entre concreto novo e convreto velho

Atualmente, as patologias em concreto armado detêm grande espaço no cenário da construção civil e exigem uma análise cuidadosa na escolha do seu tratamento ideal, como ligações de concreto em diferentes idades.

Existem inúmeras definições que especificam a aderência de um material, onde Fernandes (2000) define aderência como um mecanismo de transferência de tensões que existe na interface entre a barra de aço e a armadura com o concreto que a envolve. A forma usual de consideração dessa ligação tem sido por meio da definição de ‘’tensão de aderência’’ sendo distribuída ao longo da interface, onde o seu conhecimento se faz necessário para a compreensão do seu comportamento.

De acordo com Doria (2014), ao realizar o processo de recuperação ou um reparo em uma estrutura de concreto, onde existe a necessidade ligação entre concretos em diferentes idades, é importante que haja um conhecimento acerca da aderência entre o concreto novo e o concreto velho. As incompatibilidades em relação às deformações entre concretos em diferentes idades podem ocasionar tensões na sua interface de ligação, pois o concreto aplicado sofre deformações devido à retração.

Segundo Fernandes (2000), a transferência de forças está associada a uma combinação de parcelas relativas à adesão, ao atrito e à aderência mecânica, sendo impossível determinar cada componente isoladamente, devido à complexidade dos fenômenos que a envolvem. Podem-se destacar três tipos de aderência que atuam no conjunto, dentre elas:

a) Aderência por adesão – a adesão ou também conhecido como adesão química surgiu devido às ligações físico-químicas nas interfaces durante as reações de pega do cimento, sendo destruída pelas ações de serviço ou de retração do concreto;
b) Aderência por atrito – decorrente das forças de atrito existentes entre o aço e o concreto (rugosidade do material);
c) Aderência mecânica – está associada à forças de compressão que surgem perpendiculares às faces das nervuras no momento em que a barra é tracionada e pretende deslizar.

Para Besauchen e Alexander (2008) a união de concretos em diferentes idades é comum, ocorrendo desde o reparo de estruturas de concreto, até ligações entre elementos de concreto pré-moldado. Segundo os mesmos autores, a sobreposição de concretos em diferentes idades pode levar ao aparecimento de fissuras e descolamento dos concretos que se pretendia unir.

Fagury (2002) relata que em recuperações de estruturas do tipo concreto novo x velho, a aderência entre os diferentes tipos pode ser profundamente afetada pelas diferentes retrações eventualmente apresentadas pelos dois materiais e pelo fato de existir ou não a cura.

De acordo com Cánovas (1988) é importante que sejam tomados certos cuidados no tratamento da área aonde será feira a união entre os concretos de diferentes idades, para que a descontinuidade construtiva não se traduza em uma descontinuidade estrutural (DORIA, 2014).

Pra Fagury (2002), a aplicação de pastas de cimento Portland de alto desempenho é de grande importância, contribuindo sobre a aderência química entre o concreto novo e velho, além da aderência física, como a escarificação do concreto.

Bissonnette et al. (2013) relata que a preparação de superfície onde exista a união entre concreto velho e novo é uma das questões-chaves para a obtenção de uma alta qualidade neste tipo de ligação. Para uma boa preparação não são apenas os processos que ocorrem antes da aplicação do novo concreto. A limpeza da superfície, lançamento e cura do concreto devem ser conduzidos até que se desenvolva uma elevada resistência para o acomodamento das tensões.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização da pesquisa foi baseada em ensaios realizados no LAPATEC – Laboratório de Amostras e Técnicas Construtivas da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim, para a análise da aderência entre concretos em diferentes idades, com 28 dias de diferença.

### 3.1 Moldagem dos corpos de prova

Inicialmente foram confeccionados e moldados 6 corpos de prova (cp’s) cilíndricos, com dimensões de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, cujo o concreto será dosado de acordo com o método do IPT/EPUSP, descrito por HELENE e TERZIAN (1992). Para a confecção dos corpos de prova será utilizado o cimento Portland Pozolânico CPV e com resistência fck $\geq$ 25MPa.

A realização do adensamento do concreto será realizada através do vibrador por imersão e os corpos de prova serão acondicionados em uma câmara úmida durante um período de 28 dias. Finalizando o período de cura, os corpos de prova serão cortados na diagonal, conforme a Figura 1, para que sejam apicoados posteriormente, totalizando 12 corpos de prova.

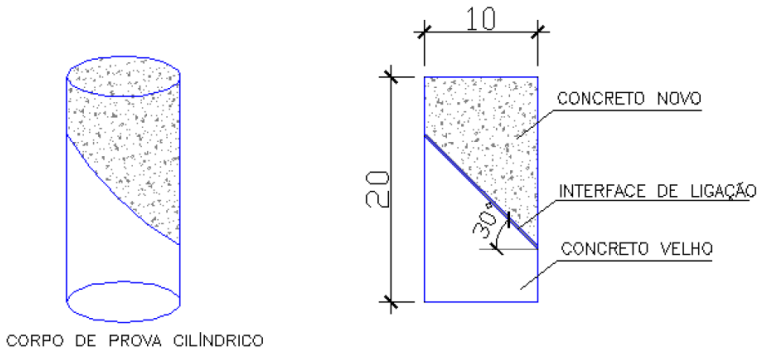



Figura 1. Corte dos corpos de prova para a técnica de união entre concretos em diferentes idades.

Logo após o corte, os corpos de prova foram colocados novamente nas suas respectivas formas e concretados novamente, recebendo um tratamento adesivo a base de cimento CPV e água na sua superfície de ligação.

A dosagem do novo concreto utilizado possui as mesmas características do concreto velho, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Dosagem experimental do cimento CPV – ARI

| **Traço Unitário (1:m)** | **Relação água/cimento (a/c)** | **Resistência Potencial – 28 dias (MPa)** | **Consumo de cimento (kg/m³)** | **α (%)** | **Abatimento** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1:5 | 0,47 | 31,60 | 380 | 48 | 100 |

Fonte: Autores (2019).

Após os 28 dias de cura, foram realizados ensaios para determinar a aderência e resistência do concreto e analisar se o método de tratamento da superfície é eficiente.

### 3.2 Tratamento superficial da junta

Inicialmente, logo após o corte, todas as amostras receberam o tratamento superficial de apicoamento em superfície úmida e superfície seca, indicado para este tipo de união. Em seguida, juntamente com o apicoamento da superfície utilizou-se um adesivo de nata de cimento como forma de tratamento superficial, com o traço de 1;0,4 (cimento CP V-ARI: água). Foram adotados diferentes métodos de tratamento na superfície da junta de concretagem, dentre eles: apicoamento em superfície úmida, apicoamento em superfície seca, apicoamento e adesivo em superfície úmida e apicoamento e adesivo em superfície seca. A Tabela 02 representa a forma de tratamento superficial, a quantidade de corpos de prova e a sua respectiva nomenclatura.

Tabela 2. Diferentes tratamentos superficiais.

| **Tratamento superficial** | **Quantidade de cp's ensaiados** | **Nomenclatura** |
|---|---|---|
| Apicoamento (superfície úmida) | 3 | SU |
| Apicoamento (superfície seca) | 3 | SP |
| Apicoamento + adesivo (superfície úmida) | 3 | SU + Ad |
| Apicoamento + adesivo (superfície seca) | 3 | SP + Ad |

Fonte: Autores (2019).

A realização do apicoamento foi feita de forma contínua sobre toda o corte inclinado do corpo de prova com o auxílio de uma picareta, sempre tomando cuidado para não danificar os cp's. Buscou-se criar uma superfície rugosa para facilitar a aderência do adesivo para a realização do tratamento, conforme a Figura 02.




Figura 2. a) materiais utilizados para a realização do apicoamento; b) superfície apicoada.

### 3.3 Aplicação da pasta

Para a aplicação da pasta, será utilizado o traço de 1:0,4 (cimento CP V-ARI e água), sendo a mistura composta de 300g de cimento e 120ml de água. Efetuou-se a limpeza da superfície dos corpos de prova com concreto velho para que não houvesse nenhum resíduo de pó devido ao apicoamento da superfície (Figura 3.a). Logo após o processo de limpeza, aplicou-se uma camada de nata de cimento de aproximadamente 2mm em todos os corpos de prova que deveriam receber o adesivo e, posteriormente, incorporar o novo concreto (Figura 3.b).



Figura 3. a) Limpeza dos corpos de prova; b) Aplicação do adesivo.

### 3.4 Concretagem no novo concreto

A realização da nova concretagem foi contabilizada após 28 dias da primeira concretagem. Após a concretagem, realizou-se o slump obtendo-se ± 120mm, conforme a Figura 4.



Figura 4. a) Materiais para a confecção do novo concreto; b) Dosagem do novo concreto e realização do slump text.

Após a realização do novo concreto, os corpos de prova com a superfície apicoada e a pasta úmida foram colocados nos moldes e preenchidos com o novo concreto (figura 05-a) e adensados na mesa vibradora, totalizando 12 corpos de prova (figura 05-b).




Figura 5. a) Moldagem do concreto velho; b) Moldagem do velho + concreto novo.

Após a 24 horas para a secagem, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura úmida por um período de 28 dias.

## 4. ENSAIO DE COMPRESSÃO E RESULTADOS

O ensaio de compressão foi realizado após o período de cura do concreto aos 28 dias. A realização do ensaio foi por meio da prensa hidráulica EMIC com carga máxima de 2000KN, seguindo as diretrizes da norma brasileira NBR 5739 (ABNT, 2007), conforme a Figura 6.




Figura 6. a) Corpos de prova a serem ensaiados; b) Ruptura dos corpos de prova.

Através da realização dos ensaios de compressão, obteve-se os resultados apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 contendo os valores de resistência à compressão, resistência média, desvio padrão, coeficiente de variação e tipo de rompimento, conforme a figura 07.

Tabela 03 – Resultados dos ensaios de compressão para SU.

| Corpo de Prova | Idade | Resistência Compressão (Mpa) | Média da Resistência (Mpa) | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação | Tipo de Rompimento |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CP 1 | 28 | 18,27 | | | | Na interface |
| CP 2 | 28 | 17,23 | 18,40 | 0,744 | 0,553 | Na interface |
| CP 3 | 28 | 19,20 | | | | |

Fonte: Autores (2019).

Tabela 04 – Resultados dos ensaios de compressão para SU + AD.

| Corpo de Prova | Idade | Resistência Compressão (Mpa) | Média da Resistência (Mpa) | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação | Tipo de Rompimento |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CP 4 | 28 | 19,66 | | | | Monolítico |
| CP 5 | 28 | 19,60 | 19,60 | 0,055 | 0,003 | Monolítico |
| CP 6 | 28 | 19,55 | | | | |

Fonte: Autores (2019).

Tabela 01 – Resultados dos ensaios de compressão para SP.

| Corpo de Prova | Idade | Resistência Compressão (Mpa) | Média da Resistência (Mpa) | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação | Tipo de Rompimento |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CP 7 | 28 | 16,94 | | | | Monolítico |
| CP 8 | 28 | 16,77 | 17,79 | 1,627 | 2,649 | Na interface |
| CP 9 | 28 | 19,67 | | | | |

Fonte: Autores (2019).

Tabela 02 – Resultados dos ensaios de compressão para SP+Ad.

| Corpo de Prova | Idade | Resistência Compressão (Mpa) | Média da Resistência (Mpa) | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação | Tipo de Rompimento |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CP 10 | 28 | 20,56 | | | | Monolítico |
| CP 11 | 28 | 18,96 | 19,66 | 0,354 | 0,670 | Monolítico |
| CP 12 | 28 | 19,46 | | | | |

Fonte: Autores (2019).



Figura 7. a) Rompimento na interface; b) Rompimento monolítico.

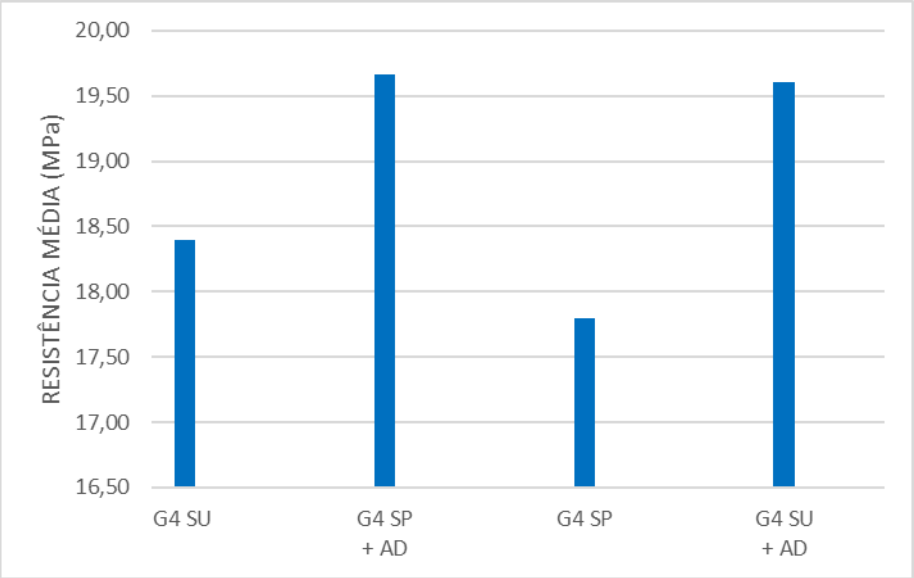



Figura 8. Média das resistências à compressão para cada tratamento.

Observou-se, conforme a Figura 8, uma maior resistência média dos cp's com a união por meio do tratamento superficial de nata de cimento CPV – ARI. Segundo Neville (1997), a nata de cimento possui propriedades adesivas e coesivas onde é capaz de permitir a união dos fragmentos minerais entre si, formando uma estrutura mais compacta, mostrando-se um tratamento mais eficaz, tanto em superfície seca como em superfície úmida, se comparado com cp's sem o recebimento do tratamento.

## 5. CONSIDEREÇÕES FINAIS

A seleção de materiais corretos e adequados engloba inúmeros parâmetros como durabilidade, sustentabilidade, economia, resistência, projeção e execução, tornando-se fatores preponderantes e necessários para que haja uma maior qualidade e vida útil da estrutura de concreto.

Devido ao aumento do crescimento do consumo de concreto no mundo todo nos últimos anos, o sistema proposto apresenta-se como uma excelente opção de reparo e recuperação de elementos estruturais entre concreto velho e novo. O presente estudo satisfez os dois parâmetros analisados, como a resistência e o custo/benefício se for comparado com outros processos de recuperação.

A partir dos resultados e dos ensaios mecânicos dos corpos de prova, foi possível identificar conclusões dos resultados, dentre eles se destacam:

a) Os resultados de resistência obtidos por meio do ensaio de compressão mostraram-se abaixo dos valores de resistência esperados devido a colmatação dos poros da interface, onde os corpos de prova deveriam ter permanecido por um período maior fora da água;
b) Boa parte dos corpos de prova romperam-se na interface de ligação devido as falhas no apicoamento juntamente com uma limpeza não uniforme da superfície apicoada e aplicação insuficiente da nata (abaixo dos 2 cm) para o tratamento superficial;
c) O tratamento em superfície seca com o apicoamento e adesivo mostrou-se com maiores valores de resistência e rompimento monolítico sendo o esforço de compressão melhor resistido pelo concreto;
d) Os resultados dos ensaios realizados em superfície úmida com ou sem adesivo, comparados com a superfície seca, mostraram-se inferiores devido aos poros já encontrarem-se saturados, fazendo com que ocorra a diminuição da área de aderência.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEUSHAUSEN, H.; ALEXANDER, M. G. Bond strength development between concretes of different ages. Magazine of Concrete Research, v. 60, n. 1, 2008 , p. 65-74.

BISSONNETTE, B., COURARD, L., BEUSHAUSEN, H., FOWLER. D., TREVINO, M., VAYSBURD, A. Recommendations for the repair, the lining or the strengthening of concrete slabs or pavements with bonded cement-based material overlays. n. 46, 2013, p. 481 – 494.

CÁNOVAS, M. F. Patologia y Terapéutica Del Hormigon Armado. Editorial Dossat, Madrid, 1988.

DORIA, M. R. 2014. 86 f. Aderência concreto-concreto e aço-concreto em recuperação de estruturas de concreto armado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

FAGURY, S. C. 2002. 168 f. Concretos e pastas de elevado desempenho: contribuição aos estudos de reparos estruturais e ligações entre concreto novo e velho, com tratamento da zona de interface. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

FERNANDES, R. M. 2000. 172 f. A influência das ações repetidas na aderência aço-concreto. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

HELENE, P.; TERZIAN, P. R. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo:PINI, 1992. 350 p

Ribeiro, E. J., 2015. "Propriedades dos materiais constituintes do concreto". Em *Revista On-line Especialize*. Goiânia, Brasil.

TRIGO, A. P. M.; Conceição, R. V.; Liborio, J. B. L. 2010. "A técnica de dopagem no tratamento da zona de interface: ligação entre concreto novo e velho". Em *Ambiente Construído*, v. 10, n. 1, p. 167 – 176. Porto Alegre, Brasil.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE NANOSÍLICA (NS) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR)

**Higor Vinícius Strapasson**
**Milena Zicatto**
**Cristina Vitorino da Silva**
*Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.*
higor.strapasson@hotmail.com, mile_zct@hotmail.com

***Resumo:*** *O concreto é o material mais utilizado para a realização de construções no Brasil, cerca de 90%, e no mundo. Seu consumo tem-se popularizado em todas as regiões do planeta devido a sua versatilidade, durabilidade, economia e a alta resistência à água. Através do avanço da tecnologia, introduziu-se no mercado o concreto de alta resistência (CAR), levando a necessidade de vãos maiores, estruturas mais esbeltas e uma arquitetura mais arrojada, aliados a nanotecnologia, tendo como objetivo fundamental a redução do impacto ambiental. Diante dos nanomateriais utilizados na adição de CAR, a nanosílica (NS) ganha um grande destaque devido a melhoria na durabilidade e resistência, preenchimento dos vazios e promove uma redução da zona de transição. Para atender o objetivo proposto de verificação da eficácia da adição de NS em CAR, este estudo trata-se de uma revisão bibliográfica buscando-se avaliar a influência da utilização de NS nas propriedades mecânicas do concreto e analisar qual a porcentagem de adição de nanosílica promove uma melhor resistência da matriz.*

***Palavras chave:*** *concreto de alta resistência, nanotecnologia, nanosílica*.

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado pelo homem, sendo um elemento heterogêneo que tem ganhado grande espaço no cenário atual devido a sua versatilidade, resistência e durabilidade. Através do avanço da tecnologia da construção civil, introduziu-se no mercado os concretos de alto desempenho (CAD) e os concretos de alta resistência (CAR) surgindo como uma necessidade de estruturas mais esbeltas, resistentes e duráveis. Segundo Silva (1995), para produção de CAR, a seleção dos materiais adequados e corretos é uma etapa fundamental para garantir a sua trabalhabilidade e resistência. Atualmente, um CAR é produzido usando uma grande variedade de materiais aliados a adições minerais e aditivos químicos, que promovem inúmeros benefícios à mistura, como principal finalidade a redução da relação a/c.

A definição de CAR não contempla a de CAD, porque o primeiro enfoca a resistência mecânica como o elemento básico da sua constituição, enquanto que o segundo abrange todas as propriedades do concreto de modo holístico, focado no resultado final (ISAIA, 2011).

Através do avanço da tecnologia, iniciou-se o surgimento de uma nova era na construção civil sendo conhecida como o concreto da terceira geração com a adição de nanomateriais. A grande vantagem dos nanomateriais, além do seu tamanho, está na potencialização das suas propriedades físicas e químicas, o que proporciona grande interesse e uma gama de possibilidades de aplicações (BRITO; PONTES, 2009).

Para Silva Júnior (2017), as nanopartículas de sílica provem inúmeros efeitos nas propriedades dos concretos e das argamassas. Estes efeitos podem ser divididos em dois grupos, sendo o primeiro classificado como efeito químico e o segundo como efeito físico. Os efeitos químicos estão associados à reação pozolânica, que é a capacidade de reação com o hidróxido de cálcio. Já os efeitos físicos estão relacionados ao aumento da densidade das misturas devido ao preenchimento dos vazios pelas nanopartículas de sílica e o refinamento do tamanho dos poros e dos grãos, aumentando o desempenho tanto do ponto de vista mecânico como da durabilidade.

Considerando-se que ainda são escassas as pesquisas referentes ao desempenho mecânico da adição de NS, busca-se analisar qual é a influência que a nanosílica exerce sobre a matriz e avaliar qual a porcentagem de nanosílica que promove uma maior resistência da matriz.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Concreto de Alta Resistência

Através do avanço da tecnologia introduziu-se no mercado os concretos de alta resistência levando à necessidade de vãos maiores, estruturas mais esbeltas e uma arquitetura mais arrojada. Este avanço iniciou-se por volta da década de 70 aonde houve a introdução do concreto reforçado com fibras e o concreto de alta resistência. Já na década de 80, foram introduzidos os superplastificantes nas misturas, tornando-se um aliado para o aumento da resistência do concreto.

Existem inúmeras definições que especificam a classe de resistência do concreto de alta resistência, tornando apenas uma impossível de ser difundida. Para o nosso país, utiliza-se como parâmetro a norma brasileira NBR 8953 (ABNT,2015) em que classifica os concretos de alta resistência em duas classes: classe I e II, sendo que a primeira compreende os concretos com resistência de até 55 MPa, e a segunda classifica os concretos com resistência acima de 55MPa.

O concreto é o material estrutural mais amplamente usado e a sua microestrutura é heterogênea e complexa. A sua microestrutura possui três constituintes: pasta de cimento hidratada, agregado e zona de transição na interface entre a pasta de cimento e o agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

### 2.2 Nanotecnologia

O ramo da nanotecnologia já é um negócio de bilhões de dólares (BUSHAN, 2004) que atrai a cada dia mais investimento, em todo o planeta, devido ao seu enorme potencial de aplicação nos mais variados setores industriais e ao impacto que seus resultados podem gerar ao desenvolvimento tecnológico e econômico. Existe uma infinidade de áreas onde a nanotecnologia pode dar uma contribuição significativa (BASTOS, 2006), como é o caso da área da engenharia, abrangendo a área da construção civil.

Segundo Silva et al. (2018), existe uma grande necessidade do mercado da construção civil de ter materiais que, incorporados aos já existentes, melhorem suas propriedades primárias, seja em relação a sua capacidade de resistência, diminuição da permeabilidade e consequentemente maior vida útil das edificações.

Dentre a grande quantidade de nanomateriais existentes (nanotubos de carbono, nanosílica, nanopartículas de dióxido de carbono, etc.) (MALLMANN, 2013), optou-se por utilizar a nanosílica (NS) neste estudo. A nanosílica representa uma grande parcela dos nanomateriais que são utilizados atualmente, e mesmo sendo largamente utilizada, suas aplicações e efeitos sobre as misturas de concreto ainda não são completamente conhecidas (NETO et al. 2017).

#### 2.2.1 Nanosílica

Segundo Bregna e Roberts (2006), nanosílica são partículas amorfas de dióxido de sílico (SiO2) em escala nanométrica (geralmente entre 1 a 100nm) que possui uma estrutura porosa, geralmente de forma esférica. Devido a sua elevada área superficial específica, a nanosílica constitui um material silicoso altamente reativo (BJORNSTROM et al. 2004).

Conforme Nolli Filho (2015), a nanosílica possui a mesma composição química que o quartzo e a sílica ativa ($SiO_2$). Contudo, o quartzo é cristalino, enquanto que a sílica ativa e a nanosílica são amorfas. A principal diferença entre a nanosílica e a sílica ativa está no tamanho das partículas, aonde o tamanho típico das partículas de sílica ativa está compreendido entre 200 e 1000 nanômetros, enquanto a nanosílica está entre 3 e 200 nanômetros (TECNOSIL, 2013).

Segundo Nogueira et al. (2018), a incorporação de nanosílica em materiais cimentícios atua de duas maneiras. A primeira maneira refere-se na sua atuação química, aonde a nanosílica reage rapidamente com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) liberado durante a hidratação do cimento, formando os compostos resistentes de silicato de cálcio hidratado (C-S-H). A segunda forma de atuação relaciona-se a atuação física, aonde as nanopartículas atuam como fíler, preenchendo os espaços intersticiais entre os grãos de cimento, resultando em um refinamento da sua microestrutura.

O uso de nanosílica, quando comparado à sílica ativa, tem um desempenho mecânico, físico e químico melhor, o que confirma a teoria que relaciona a reação pozolânica com a superfície de contato (JO et al. 2007).

Conforme um estudo realizado por Graeff (2012), a adição de nanosílica pode melhorar o desempenho do concreto quanto à hidratação do cimento, às propriedades físicas, o comportamento mecânico e a durabilidade. Já no estado fresco, as propriedades também se alteram com a adição de nanosílica, aumentando a viscosidade e reduzindo o tempo de pega.

Segundo um estudo realizado por Mallmann (2013), a nanosílica pode ser obtida por diversos processos, conforme segue:

a) Processo solução-gel;
b) Vaporização de sílica;
c) Método biológico;
d) Método de precipitação;
e) Método de sílica olivina.

Além dos métodos listados, existe a nanosílica estabilizada com aditivo superplastificante, que permite uma melhor dispersão das nanopartículas no concreto, além de dispersarem as partículas de cimento em hidratação, conforme mencionado por Nolli Filho (2015).

## 3 METODOLOGIA

Este estudo é classificado como uma pesquisa bibliográfica, apresentando como foco principal a revisão de literatura. A realização do estudo baseou-se mediante leitura sistemática ressaltanto os principais pontos dos autores referentes ao assunto em questão. Com relação aos procedimentos técnicos utilizou-se material já publicado como livros, artigos, periódicos, monografias, dissertações, teses nacionais e internacionais buscando-se analisar qual a porcentagem de nanosílica que promove uma maior resistência da matriz.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Estado da Arte

Dinten (2000) realizou um estudo sobre a contribuição de sílicas nas propriedades do concreto, sendo utilizado o concreto comum com quatro traços nas idades de 3,7 e 28 dias, com adição de 7,5 % de sílica ativa e 5% de adição de nanosílica. Segundo Dinten (2000), os resultados para estas porcentagens de adição comprovaram apenas benefícios da sílica ativa, mas não foram satisfatórios em relação a adição de nanosílica, sendo apenas caracterizado como fíler, embora tenha sido comprovado o efeito pozolânico.

Khanzadi et al. (2010) avaliou a influência de partículas de NS em suspensão coloidal nas propriedades mecânicas e permeabilidade do concreto convencional. Segundo os autores, a adição de NS proporcionou inúmeras melhorias, dentre as quais se destacam:

a) A resistência à tração e à compressão aumentaram em idades precoces;
b) Redução do tamanho dos cristais na zona de transição ocorrendo uma melhoria da mesma e da pasta de cimento;
c) Maior resistência à permeabilidade, devido a estrutura com a adição de NS ser mais densa e uniforme.

Moraes et al. (2010) analisou em sua pesquisa a adição de NS na resistência à compressão de concretos convencionais, sendo estabelecido um teor de adição de 2% de NS em suspensão coloidal. Segundo Moraes et al. (2010), não foram observados efeitos positivos sobre a resistência do concreto à compressão na adição de NS, sendo que a ausência de atividade pozolânica, advinda à adição desta substância, efeito fíler e nucleação se caracterizou devido a sua dimensão reduzida, que não contribuiu para o fechamento da granulometria da mistura.

Nili et al. (2010) realizou um estudo sobre a influência da adição de nanosílica e microsílica no desempenho do concreto, sendo que os teores que obtiveram melhores resultados foram de 6 % de microsílica e 1,5 % de nanosílica em suspensão coloidal, como substituições parciais do cimento. Segundo Nili (2010), estas porcentagens melhoraram a resistência à compressão e resistências elétricas, e diminuíram, também, a absorção capilar.

Moreno (2012) analisou a influência da NS sobre as características de um microconcreto de ultra alta resistência, sendo incorporados na pesquisa os teores de 0%, 0,41%, 0,82%, 1,63% e 2,04% de nanosílica em suspensão coloidal sobre a massa de cimento. Segundo os autores, a incorporação de 0,82% destaca-se das demais por ter permitido uma redução de 38% na porosidade, aumentando densidade da amostra. Concluiu-se que, o teor de nanosílica ideal para a fabricação de concretos encontra-se na escala de 0,82% a 1,63% sobre a massa de cimento.

Dantas (2013) analisou a avaliação dos efeitos da adição de nanosílica em pó (NSP) e em suspensão coloidal (NSC) em pastas de cimento Portland no seu estado fresco e endurecido. Segundo o autor, foram utilizados ambos os materiais nas porcentagens de 0,25%, 0,50% e 1,00%, em substituição à massa de cimento. Através dos ensaios realizados, observou-se um aumento na viscosidade cinemática com o aumento do percentual de NS, sendo mais acentuado com a NSC, e os tempos de pega inicial e final diminuíram com o acréscimo de NS. Em contrapartida, devido às altas dispersões dos resultados, não foi possível observar aumentos de resistências das misturas.

Mallmann (2013) analisou a influência da NS dispersa em um aditivo para a análise de concretos de ultra alta resistência (concreto de pós reativos). Verificou-se que, para o concreto estudado, a adição de NS não influenciou na resistência à compressão. Já na resistência à flexão, houve um aumento significativo de resistência mecânica.

Ghafari et al. (2014) analisou o efeito da adição de NS sobre a fluidez, resistência mecânica e propriedades de transporte do concreto de ultra alto desempenho. Segundo o autor, através das medições de porosimetria por intrusão de mercúrio observou-se que a adição de NS levou à redução dos poros capilares. Já a observação realizada pelo microscópio eletrônico de varredura revelou que a inclusão de 3% NS pode melhorar a zona de transição e o aprimoramento na resistência à compressão.

Cauduro (2015) realizou uma pesquisa sobre a incorporação de NS em pastas de cimento Portland, sendo formulados duas pastas cimentícias com duas relações de água/cimento (0,26 e 0,40) com incorporação de NS em pó (1 e 2%), dispersado fisicamente por ultrassonicação, com e sem aditivo superplastificante. Como resultado na

identificação nas propriedades mecânicas das pastas e a evolução da hidratação do cimento por calorimetria, a adição apresentou ganhos de resistência à compressão, reduziu os tempos de pega e aumentou o pico da terceira etapa do fluxo de calor. Observou-se também, que a resistência à flexão e o módulo de Young não apresentaram alterações com a adição de NS.

Nolli Filho (2015) examinou as propriedades mecânicas do CAD com adição de NS estabilizada incorporada ao aditivo superplastificante. Segundo o autor, a adição de NS melhorou as propriedades do concreto em relação a trabalhabilidade e compacidade. Já no seu estado endurecido obteve-se redução do consumo de cimento e de água, e aumento de resistência a compressão.

Segundo Pereira (2015), através do seu estudo sobre a influência de NS no desempenho mecânico de concreto reforçado com fibras de aço, foram utilizados teores de NS na ordem de 1% e 2%. Com a introdução de nanopartículas de SiO2 na pasta de cimento, obtiveram-se os melhores resultados de resistência à tração, mas resultados desfavoráveis no que respeita à resistência à compressão (PEREIRA, 2015).

Mendes (2016) realizou um estudo sobre o efeito da NS em matrizes cimentícias de ultra alta resistência, sendo utilizada a NS em suspensão coloidal. Através dos resultados analisados, para teores de 0,2% de NS calculados a partir da densidade e concentração em massa das suspensões, foram obtidos ganhos na resistência à compressão e para teores em massa superiores à 0,8% de NS, tem-se uma perda de desempenho das matrizes.

Rigo (2016) desenvolveu sua pesquisa sobre o estudo da sinergia entre a NS e micro sílica em argamassas para a aplicação de concretos convencionais visando a melhoria do seu desempenho, sendo utilizado a NS dispersa em aditivo pelo próprio fabricante. As adições de NS alteraram as características no estado fresco e no desempenho mecânico, aumentou a trabalhabilidade e proporcionou uma melhor condição de lançamento do concerto.

Geyer et al. (2017) desenvolveu um estudo sobre o uso da NS em suspensão coloidal dispersa em um aditivo superplastificante, em busca da consistência e resistência mecânica do concreto, sendo dosadas duas misturas com e sem NS. Segundo o autor, os resultados mostraram que o aditivo com NS apresentou um melhor desempenho no estado endurecido, atingindo maior valor de resistência mecânica.

Sena et al. (2017) realizou uma análise comparativa das propriedades mecânicas do concreto convencional e incorporado com NS, sendo utilizado teores de adição de 8% de sílica ativa e 0,9% de aditivo plastificante com NS em suspensão coloidal. Como resultado da pesquisa, com o objetivo de comparar a resistência à compressão axial, constatou-se que este teor de adição não obteve um ganho de resistência significativa.

Silva Junior (2017) avaliou em seu estudo a estabilidade dimensional de CAR com adição de NS e com polímero superabsorvente (SAP) e constatou que a adição de NS como agente de cura interna, apresentou potencial de compensar a perda de resistência à compressão dos concretos estudados. Foram utilizados teores 0%, 1% e 2% de NS em suspenção coloidal, podendo-se afirmar que a NS alterou as propriedades reológicas do concreto, aumentando a necessidade de aditivo, sendo que a adição de NS tem um maior efeito do que o polímero superabsorvente. Segundo Silva Junior (2017), a NS aumentou o teor de ar aprisionado com o aumento de adição da mesma, sendo observado, também, o incremento de retração autógena com o aumento do teor de adição de NS.

Silva et al. (2018) investigou o comportamento mecânico de concreto com nanosílica presente em um aditivo superplastificante a base de policarboxilato, nas proporções de 1%, 2%, 2,4%, 3% e 4% em relação a massa de cimento. Segundo os autores, a adição de NS não possibilitou o acréscimo de resistência à compressão do concreto, pois o maior valor de resistência foi obtido pelos corpos de prova que não possuíam teores de adição.

Shen et al. (2007) estudaram a aplicação de pastas e argamassas de cimento enriquecidas com nanosílica no reparo de estruturas antigas de concreto, concluindo que a aderência entre o concreto novo e o concreto velho é muito maior com a adição, devido à sua grande área superficial e à sua intensa atividade pozolânica, que melhora a zona de interface entre os dois materiais.

## 5. CONSIDEREÇÕES FINAIS

A seleção dos materiais utilizados engloba inúmeros parâmetros relacionados a projeção, execução, economia, durabilidade, segurança e sustentabilidade. O uso de aditivo e adições aliados a nanotecnologia promovem o crescimento da consciência sustentável no setor da construção civil, como é o caso da adição de nanosílica através da redução do consumo de cimento.

Com base nos resultados listados no estado da arte, buscou-se encontrar qual porcentagem de adição de nanosílica promovesse uma melhor resistência na matriz do concreto, encontrando-se como a porcentagem ideal o teor de 1,5% e 3% de adição de nanosílica sobre o concreto de alta resistência.

A escolha da porcentagem de 1,5% baseou-se no estudo realizado por Moreno (2012), revelando-se como um teor eficaz dentro da zona proposta pelo próprio autor, promovendo a redução da porosidade e o aumento da densidade. A escolha do segundo teor de 3% fundamentou-se na tese de Ghafari et a. (2014), onde houve o melhoramento da zona de transição e um aumento na resistência à compressão do concreto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, R. M. P. Nanotecnologia: uma revolução no desenvolvimento de novos produtos. 2006. 35 f. Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.

BJÖRNSTRÖM, J., MARTINELLI, A., MATIC, A., BÖRJESSON, L., PANAS, I. Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium–silicate–hydrate formation in cement, Chemical Physics Letters, v. 392, n. 1-3, pp. 242-248, 2004.

BREGNA, H. E.; ROBERTS, W. O. Colloidal Silica: Fundamentals and Applications. Taylor & Francis Group, LLC, 2006.

BRITO, A. C. F; PONTES, D. L. A indústria da era dos nanomateriais. Governo Federal – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009.

BUSHAN, B. (Editor), "Springer Handbook of Nanotechnology", First Edition, New York, Springer Verlag, 2004.

CAUDURO, F. Estudo da incorporação de nanotubos de carbono e nanossílica em pastas de cimento Portland. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DANTAS, M. H. O. Avaliação dos efeitos da adição de nanossílicas e pó e coloidal em pastas de cimento Portland. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

DINTEN, C. A. M. Contribuição da adição de sílicas nas propriedades do concreto. 2000. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2000.

GEYER, A. L. B.; NETO, T. F. C. Efeitos do uso de aditivo com nanosílica em suspensão coloidal na consistência e resistência mecânica do concreto. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. v. 13. n. 2. p. 11. dez, 2017.

GHAFARI, E. et al. The effect of nanosilica addition on flowability, strength and transport properties of ultra high performance concrete. Materials and Design. Elsevier, 2014.

GRAEFF, C. Nanotecnologia: ciência e engenharia. 1ª ed. São Paulo: Cultura Acadêmica. 2012. 308 p.

ISAIA, G. C. Concreto de ultra e alto desempenho. In: ISAIA, G.C. (Editor). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. vol 2, cap 36.

JO, B.W. *et al*. Characteristics of cement mortar with nano-SiO2 particles. Construction and Building Materials, v. 21, n. 6, p. 1351-1355, 2007.

KHANZADI, M.; TADAYON, M.; SEPEHRI, H.; SPEHRI, M. Influence of Nano-Silica Particles on Mechanical Properties and Permeability of Concrete. In: Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. Italy, 2010.

MALLMANN, P. F. Concreto de pós reativos: adição de nanosílica. 2013. 69 f. Trabalho de diplomação (Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Regional do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, T. M. Efeito da nanossílica em matrizes cimentícias de ultra alta resistência. 2016. 113 f. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catharina, Florianópolis, 2016.

MORAES, M. Q.; LOPES, R. R. Análise da contribuição de adições de microssílica e nanossílica na resistência à compressão de concretos convencionais. 2010. 81 p. Monografia (Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

MORENO, E. G. Influencia de la nanosílice sobre las características de um microhormigón de ultra alta resistência. 2012. 50 f. Monografia.

NILI, M.; EHSANI, A.; SHABANI, K. Influence of Nano-SiO2 and Microsilica on Concrete Performance. In: Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. Italy, 2010.

NOGUEIRA, G. S. F. et al. Incorporação de nanossílica em compósitos cimentícios. Revista Matéria, Londrina, v. 23. n. 3. p. 12. fev, 2018.

NOLLI FILHO, P. R. Propriedades mecânicas do concreto de alto desempenho com adição de nanosílica estabilizada. 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

PEREIRA, R. P. M. Influência da adição de nano-sílica no desempenho mecânico de betões reforçados com fibras de aço. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2015.

RIGO, L. A. Estudo da sinergia entre nano sílica e micro sílica em argamassas para aplicação em concretos como proposta de melhoria de desempenho. 2016. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

SENA, A. S.; MARTINS, B. G. Análise comparativa das propriedades mecânicas do concreto convencional e incorporado com sílica ativa e nanosílica. 2017. 13 f. Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil, 2017.

SHEN, W., ZHOU, M., ZHA, J. NANO PARTICLE MODIFIED BONDING AGENTFOR CONCRETE REPAIR, Wuhan university of technology, International Conference on Transportation Engineering 2007 (ICTE 2007).

Sílica ativa. Tecnosil. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa/>. Acesso em: 20 abr, 2019.

SILVA JUNIOR, P. F. Estudo da estabilidade dimensional de concretos de alta resistência com adição de polímero superabsorvente e nanopartículas de sílica. 2017. 368 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SILVA, I. S. Concreto de alta resistência: composição, propriedades e dimensionamento. 1995. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVA, S. S.; COPETTI, M.; CANTARELLI, G.; SEIDLER, N.; Comportamento mecânico de concreto com nanosílica. TEMAS EMERGENTES EM INOVAÇÃO, 7º fórum internacional ecoinovar, 2018, Santa Maria. 2018. 11 p.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO

**João Pedro Endres, Alessandro Graeff Goldoni, Fábio Augusto Henkes Huppes, Guilherme Jordão Cardoso, Lucas Carvalho Vier, Rodrigo Henryque Reginato Quevedo Melo**
Universidade de Passo Fundo
132313@upf.br, goldoni@upf.br, 180290@upf.br, 180291@upf.br, 180293@upf.br, rodrigohquevedo@gmail.com

***Resumo:*** *Atualmente, o concreto celular espumoso surge como opção sustentável, devido a menor quantidade de materiais empregados na sua produção. Assim, este trabalho foi realizado em laboratório com o objetivo de avaliar o traço e o agregado miúdo utilizado na produção do concreto celular espumoso. Os materiais empregados foram cimento CPIV 32, aditivo incorporador de ar e areia natural com granulometria variável. Foram feitos 10 testes de concreto celular espumoso, cada grupo de testes com uma granulometria diferente de areia natural. Para cada teste realizado foi moldado 1 corpo de prova de 15x15x50 cm, submetidos à determinação da densidade de massa no estado fresco, à cura e ao ensaio de resistência à compressão aos 7 e 28 dias. Dessa forma com a granulometria de areia escolhida, foram realizados mais 6 testes variando o traço, sendo feito o traço pobre e rico do traço inicial. Após 7 e 28 dias os corpos de prova foram analisados quanto à densidade de massa e resistência à compressão. Por fim, a melhor granulometria foi a da areia média e os traços intermediário 1:1,25 e rico 1:0,75 apresentaram os melhores resultados de densidade de massa e resistência à compressão.*

***Palavras chave:*** *Concreto Celular Espumoso, Aditivo Incorporador de Ar, Espuma.*

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil vem todos os anos crescendo em larga escala, e isto devido às necessidades humanas, que precisam de estruturas capazes de suportar e disponibilizar o necessário para o desenvolvimento. Com isso todos os anos toneladas de materiais dos mais diversos tipos são empregados na construção civil, o que vem acarretando em inúmeras pesquisas na área de materiais, pensando-se sempre em desenvolver novas matérias-primas (artificiais) e novos métodos para desenvolvimento de um material, prezando pela sustentabilidade visto a grande preocupação com o estoque natural e o possível fim de algumas fontes como areia, argila, calcário, pedriscos entre outras. Além disso Bremer, et al. (2013) afirmam que as indústrias da construção civil que estão preocupadas com a sustentabilidade estão apresentando um melhor desempenho financeiro, inclusive no setor acionário.

Segundo Ferreira (1987), até a década de 80 a indústria da construção civil esteve limitada a atividades construtivas artesanais, devido à impossibilidade de inserir técnicas capazes de assegurar o progresso no setor, e os poucos conhecimentos adquiridos eram passados de geração em geração, o que assegurava um certo padrão de qualidade. Porém houve uma grande evolução no quesito de técnicas e surgimento de novos materiais, e segundo ele isto se deu devido a um intenso aumento do intercâmbio internacional.

A partir desse cenário surge o material que será fonte de pesquisa neste trabalho, sendo este o Concreto Celular Espumoso (CCE), que segundo Ferreira (1987) não é uma ideia nova, mas o seu desenvolvimento é relativamente recente. Silva (2015) explica que o crescente aumento na linha de pesquisas do CCE está se dando principalmente por sua baixa densidade e melhor conforto ambiental. Tendo em vista a importância do emprego de materiais sustentáveis, e o avanço nas técnicas construtivas, o presente trabalho irá em busca de maiores conhecimentos acerca do concreto celular espumoso, demonstrando suas vantagens e desvantagens, bem como o seu processo de fabricação. O mesmo será confeccionado em laboratório, tendo como principal objetivo a busca de um traço ideal e a avaliação do agregado miúdo utilizado.

## 2. METODOLOGIA

A elaboração do trabalho foi desenvolvida no laboratório de materiais de construção localizado no prédio CETEC da Universidade de Passo Fundo. De início foram necessários materiais para a montagem do equipamento gerador de espuma, além do aditivo incorporador de ar, aglomerante e agregados necessários para confeccionar o concreto celular espumoso, a qual serão descritos a seguir.

### 2.1 Montagem do dispositivo gerador de espuma

Para iniciar a pesquisa se fez a montagem e a regulagem do dispositivo gerador de espuma. Vale ressaltar que toda essa etapa foi realizada seguindo o trabalho de conclusão de curso de Lencini (2015). O tubo de perda de carga foi o único elemento que não foi preciso montar novamente, já que o mesmo que foi utilizado no trabalho de Lencini (2015), se encontrava no laboratório de materiais. Na fig. 1 se tem o dispositivo gerador de espuma após o término de sua montagem.



Figura 1. Dispositivo gerador de espuma

### 2.2 Aglomerante

Para a produção do concreto celular espumoso foi utilizado como aglomerante o cimento CP IV-32 RS. A escolha do uso desse aglomerante se deu através dos resultados obtidos no trabalho de conclusão de curso de Nardi (2015), a qual adicionou cinza volante ao concreto celular espumoso. Segundo Nardi (2015) conforme aumentava a quantidade de cinza volante na mistura, maior era a resistência a compressão da amostra, que segundo o mesmo se deu por causa do preenchimento dos vazios pela cinza, o que não influenciou na densidade estipulada como meta. Sendo assim decidiu-se utilizar o cimento CP-IV já que o mesmo possui adição pozolânica entre 15% a 50% em massa.

### 2.3 Agregado

No concreto celular espumoso não se faz o uso de agregados graúdos, ou seja, apenas se utiliza agregados miúdos. Os agregados utilizados no presente trabalho foram areias naturais de rio de cinco tipos diferentes de granulometria, sendo areia fina, areia média, areia grossa e duas areias compostas, sendo uma delas de 50% areia fina e 50% areia média e a última 50% areia media e 50% areia grossa.

Definidos tipos de agregados que seriam utilizados no trabalho, partiu-se para a caracterização da curva granulométrica de cada agregado. Para isso, fez-se uso da norma Agregados para concreto – Especificação NBR 7211 (ABNT, 2005), para classificar as areias, e também a norma Agregados – Determinação da composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003), para o ensaio de peneiramento. A fig. 2 retrata o processo de peneiramento executado em cada tipo de areia.

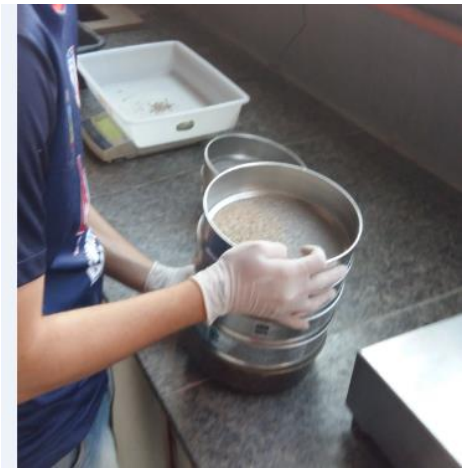


Figura 2. Processo de peneiramento dos agregados.

A partir do peneiramento de cada agregado se obteve a porcentagem acumulada de grãos retidos em cada malha de peneira, gerando para cada areia uma curva granulométrica, como pode ser visto na tab. 1 e fig. 3 a seguir.

Tabela 1. Porcentagem acumulada de grãos nas peneiras da série normal.

| Areia Fina | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abertura das peneiras (mm) | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,60 | 0,30 | 0,15 | Fundo |
| Porcentagem acumulada (%) | 0,13 | 0,38 | 0,72 | 1,22 | 66,47 | 95,77 | 100 |

| Areia media | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abertura das peneiras (mm) | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,60 | 0,30 | 0,15 | Fundo |
| Porcentagem acumulada (%) | 0,23 | 1,04 | 4,29 | 26,51 | 69,84 | 88,62 | 100 |

| Areia Grossa | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abertura das peneiras (mm) | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,60 | 0,30 | 0,15 | Fundo |
| Porcentagem acumulada (%) | 0,81 | 10,33 | 28,93 | 62,91 | 92,64 | 98,84 | 100 |

| Areia composta 50% Fina 50% Media | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abertura das peneiras (mm) | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,60 | 0,30 | 0,15 | Fundo |
| Porcentagem acumulada (%) | 0,18 | 0,71 | 2,50 | 13,86 | 68,15 | 92,19 | 100 |

| Areia composta 50% Media 50% Grossa | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abertura das peneiras (mm) | 4,75 | 2,36 | 1,18 | 0,60 | 0,30 | 0,15 | Fundo |
| Porcentagem acumulada (%) | 0,52 | 5,68 | 16,60 | 44,70 | 81,23 | 93,73 | 100 |

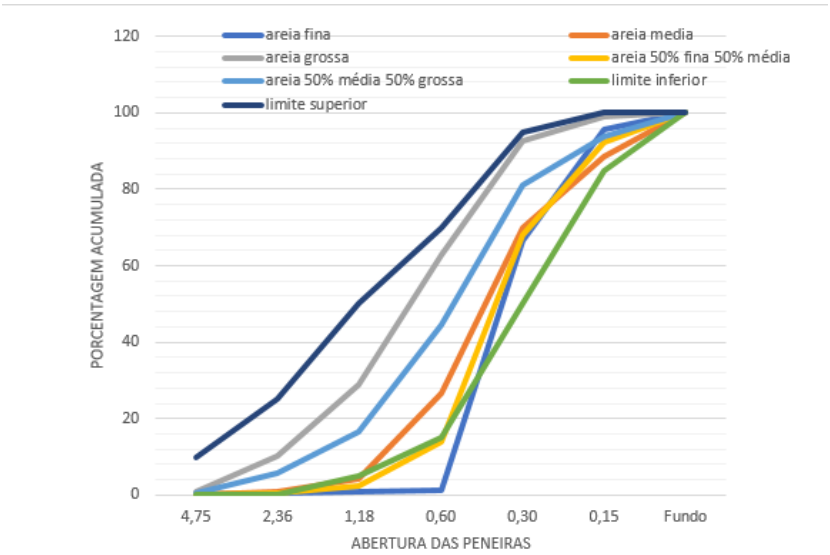



Figura 3. Curva granulométrica das areias testadas.

Na figura 9, percebe-se que as areias utilizadas estão entre os limites inferior e superior da distribuição granulométrica do agregado miúdo de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005).

### 2.4 Aditivo incorporador de ar

Para a produção do concreto celular espumoso utilizou-se o aditivo incorporador de ar "Air" que atende às especificações da norma Aditivos Químicos Para Concreto de Cimento Portland – Requisitos, NBR 11768 (ABNT, 2011). O funcionamento deste produto se deu pela sua diluição em água, processando então no dispositivo gerador de espuma. O traço utilizado foi o recomendado pela empresa desenvolvedora do produto, sendo este de 1:40, a qual para cada 1 litro de aditivo diluído em 40 litros de água, se produz em média 550 litros de espuma. Segundo o fabricante do aditivo, o mesmo é capaz de produzir um concreto celular espumoso com densidade variando de 400 a 1600 kg/m³.

### 2.5 Traços utilizados

Para a produção do concreto celular espumoso, optou-se pela utilização do traço recomendado pela empresa desenvolvedora do aditivo utilizado no trabalho. Assim sendo no rótulo do produto constava a quantidade de cada material que deveria ser utilizado para a fabricação do concreto. O traço utilizado na proporção das quantidades, é de 1:1,25 em massa de cimento e areia seca. A partir desse traço intermediário, gerou-se mais dois traços, o rico e o pobre, sendo o primeiro de 1:0,75 e o segundo de 1:1,75, variando assim a quantidade de areia em 0,5. O intuito de variar o traço recomendado foi de testar e verificar qual dentre eles é o melhor traço para se utilizar na fabricação do CCE, sendo este um dos objetivos do trabalho. Na tab. 2 mostra-se a quantidade que foi utilizada de cada material em relação ao traço correspondente para produzir o concreto celular espumoso em laboratório.

Tabela 2. Traços para a produção do concreto celular espumoso.

| Traço Rico 1:0,75 | Para cada teste |
|---|---|
| Areia | 14,4 kg |
| Cimento | 19,2 kg |
| Água na massa | 7,2 L |
| Quantidade espuma | 42,2 L |

| Traço intermediário: 1:1,25 | Para cada teste |
|---|---|
| Areia | 24 kg |
| Cimento | 19,2 kg |
| Água na massa | 7,2 L |
| Quantidade espuma | 37,8 L |

| Traço Pobre 1:1,75 | Para cada teste |
|---|---|
| Areia | 33,6 kg |
| Cimento | 19,2 kg |
| Água na massa | 7,2 L |
| Quantidade espuma | 31,72 L |

As quantidades de materiais apresentadas na tabela 2 foram calculadas para se produzir 0,06 m³ de CCE, o suficiente para moldar dois corpos de prova de 15x15x50cm mais as perdas que ocorrem durante o preparo. A relação água/cimento se manteve a mesma em todos os traços, conforme recomendação da empresa do aditivo utilizado, sendo esta relação fixada em 0,375. Além disso o cálculo da quantidade de espuma para cada traço partiu de uma interpolação linear dos valores contidos no rótulo da embalagem, sendo utilizado para 1 m³ de concreto, 703,3 litros de espuma para o traço pobre, 630 litros de espuma para o traço intermediário e 528,75 litros de espuma para o traço rico.

### 2.6 Produção do concreto celular espumoso

Com a máquina geradora de espuma montada e testada e os materiais, aglomerante, agregados e aditivo, separados nas quantidades correspondentes aos traços, iniciou-se a produção do concreto celular espumoso no laboratório. Primeiramente foram feitos 10 testes de concreto celular espumoso, sendo estes realizados com 5 granulometrias diferentes de areia natural de rio, com o objetivo de analisar quais tipos de areia dariam melhores resultados de resistência à compressão e de densidade ao concreto. Foram utilizadas areia fina, areia media, areia grossa e duas areias intermediárias, uma 50% fina e 50% media e outra 50% media e 50% grossa. Com isso para cada areia testada foram realizados dois testes, com o intuito dos corpos de prova do primeiro teste serem rompidos no 7º dia e os corpos de prova do segundo teste serem rompidos no 28º dia. Dessa forma para cada granulometria de areia testada na confecção do concreto celular espumoso, foram moldados dois corpos de prova de 15x15x50cm.

Descrevendo o processo de elaboração do concreto celular espumoso, primeiramente se fez a imprimação da betoneira com o mesmo traço de argamassa que foi realizado o concreto. Feito isso os materiais como cimento, areia e água foram separados nas quantidades necessárias conforme o traço, e então se fez a mistura dos mesmos na betoneira preparando assim a argamassa do concreto. Para finalizar foi produzida a espuma através do dispositivo gerador, a qual foi elaborada seguindo as medidas necessárias para se confeccionar 20 litros de espuma, isto porque se utilizou como

medidor de espuma um recipiente de 20 litros. Após produzir a quantidade de espuma necessária, a mesma foi então despejada na betoneira onde ficou por alguns minutos se misturando com a argamassa, originando assim o concreto celular espumoso. Por fim foram moldados os corpos de prova nos moldes prismáticos de 15x15x50cm sendo então pesados para se adquirir a densidade do concreto no estado fresco.

Os moldes utilizados para confecção dos corpos de prova de concreto celular espumoso, foram os metálicos prismáticos de 15x15x50 cm que havia no laboratório de materiais de construção. A escolha pela utilização destes moldes ao invés dos cilíndricos de 10x20 cm se deu através da necessidade de se querer produzir blocos de concreto celular espumoso, sem falar que o processo de moldagem no molde prismático acaba sendo mais fácil que no molde cilíndrico devido à camada de espuma que se cria na superfície do concreto.

O processo de moldagem e cura foi feito seguindo a norma Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova NBR 5738 (ABNT, 2015), onde a moldagem dos prismas foi realizada a partir de adensamento manual em duas camadas, sendo realizado 75 golpes por camada. Já o processo de cura, após dois dias da confecção dos corpos de prova, os mesmos foram desmoldados e encaminhados à câmara úmida onde permaneceram até o dia do ensaio.

Passados dois dias da moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram desmoldados e pesados, calculando assim a densidade do concreto celular espumoso no estado endurecido, onde após isso foram então encaminhados para a câmara úmida. Após sete dias, os corpos de prova de apenas um dos testes de cada tipo de areia foram rompidos à compressão. Comparando os resultados de densidade e de resistência à compressão, concluiu-se que o concreto celular espumoso de melhor desempenho foi o elaborado com areia média. O mesmo ocorreu com os corpos de prova dos testes de 28 dias, concluindo então que o melhor agregado era realmente a de granulometria media.

Nesta segunda parte da pesquisa com o melhor tipo de areia já determinado, os próximos testes realizados foram para testar o traço rico e pobre do traço que vinha sendo executado, para assim comparar os traços e obter o melhor dentre estes para assim se alcançar o objetivo do trabalho. O processo de elaboração do concreto celular espumoso e sua moldagem e cura, foram realizados da mesma maneira como o descrito anteriormente. Nessa etapa foram realizados 6 testes, sendo três testes para cada tipo de traço (rico e pobre).

### 2.7 Preparo dos corpos de prova para o ensaio de resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado seguindo a norma Blocos de concreto celular autoclavado – Métodos de ensaio, NBR 13440 (ABNT, 2013a). Segundo a norma, o ensaio para os blocos de concreto celular deve ser feito a partir da extração de dois corpos de prova do bloco a ser avaliado, onde os mesmos devem ser retirados em forma de cubo tendo 10 centímetros de lado. Nos blocos de concreto celular espumoso que tiveram boa incorporação de ar em seu interior, os corpos de prova puderam ser extraídos com o uso de um serrote. Por outro lado, nos blocos que não obtiveram boa incorporação de ar, os corpos de prova não puderam ser extraídos com o uso de serrote, sendo realizada então a extração com o uso de serra mármore.

Os corpos de prova com boa incorporação de ar que foram extraídos com o uso do serrote, tiveram ao final do processo de corte sua superfície toda irregular e dessa forma precisou-se capear as faces superior e inferior para poder, então, conduzi-los à prensa Emic SSh300.

## 3. RESULTADOS

As análises feitas durante o desenvolvimento do trabalho foram de densidade e resistência à compressão. Nos itens a seguir serão demonstrados todos os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados em laboratório acerca do concreto celular espumoso produzido.

### 3.1 Densidade

Os corpos de prova de concreto celular espumoso foram analisados quanto a densidade em dois momentos, no estado fresco e no estado endurecido. Os resultados obtidos nos primeiros testes, utilizando o traço intermediário e variando a granulometria da areia utilizada, estão apresentados nas tab. 3 e 4, agrupados conforme o tempo de cura mantido para realização do seu rompimento. O mesmo vale para os demais testes, onde se testou diferentes traços (rico e pobre) para o concreto celular espumoso, tendo seus resultados demonstrados nas tab. 5 e 6.

Tabela 3. Densidades em relação aos tipos de areia rompidos aos 7 dias.

| Teste | Tipo de areia | Massa estado fresco (kg) | Massa estado de cura (kg) | Dimensão corpo de prova (cm) | Densidade (kg/m³) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Estado Fresco | Estado Cura |
| 1 | Fina | 19,53 | 18,78 | 15X15X50 | 1736,00 | 1669,33 |
| 3 | Media | 15,81 | 15,35 | 15X15X50 | 1405,33 | 1364,44 |
| 5 | 50% Fina e 50% Media | 19,18 | 18,34 | 15X15X50 | 1704,89 | 1630,22 |
| 7 | 50% Media e 50% Grossa | 18,91 | 18,00 | 15X15X50 | 1680,89 | 1600,00 |
| 9 | Areia Grossa | 16,82 | 16,18 | 15X15X50 | 1495,11 | 1438,22 |

Tabela 4. Densidades em relação aos tipos de areia rompidos aos 28 dias.

| Teste | Tipo de areia | Massa estado fresco (kg) | Massa estado de cura (kg) | Dimensão corpo de prova (cm) | Densidade (kg/m³) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Estado Fresco | Estado Cura |
| 2 | Fina | 19,81 | 19,12 | 15X15X50 | 1760,89 | 1699,56 |
| 4 | Media | 16,65 | 15,89 | 15X15X50 | 1480,00 | 1412,44 |
| 6 | 50% Fina e 50% Media | 18,09 | 17,43 | 15X15X50 | 1608,00 | 1549,33 |
| 8 | 50% Media e 50% Grossa | 19,38 | 18,53 | 15X15X50 | 1722,67 | 1647,11 |
| 10 | Areia Grossa | 17,20 | 16,46 | 15X15X50 | 1528,89 | 1463,11 |

Tabela 5. Densidades em relação ao traço rompidos aos 7 dias.

| Teste | Tipo de areia | Massa estado fresco (kg) | Massa estado de cura (kg) | Dimensão corpo de prova (cm) | Densidade (kg/m³) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Estado Fresco | Estado Cura |
| 11 | Média (Traço Pobre) | 18,51 | 17,71 | 15X13X50 | 1898,46 | 1816,41 |
| 13 | Média (Traço rico) | 9,62 | 9,32 | 15X13X50 | 986,66 | 955,89 |

Tabela 6. Densidades em relação ao traço rompidos aos 28 dias.

| Teste | Tipo de areia | Massa estado fresco (kg) | Massa estado de cura (kg) | Dimensão corpo de prova (cm) | Densidade (kg/m³) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Estado Fresco | Estado Cura |
| 12 | Média (Traço Pobre) | 20,26 | 19,60 | 15x15x50 | 1800,89 | 1742,22 |
| 14 | Média (Traço rico) | 10,22 | 9,83 | 15x13,5x50 | 1011,88 | 973,27 |

Os primeiros testes dos números 1 ao 10 computaram em seus resultados de densidade que a melhor areia a se utilizar dentre todas as areias testadas é a areia média que resultou em um concreto celular espumoso de menor densidade. Com isso utilizando como agregado a areia média e variando o traço do concreto celular espumoso, os testes do número 11 ao 14 apresentaram como melhor resultado de densidade, o concreto de traço rico 1:0,75.

### 3.2 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram feitos com auxílio do software TSC versão 3.04, a partir do método de ensaio bloco celular 200KN. Os mesmos juntamente com a prensa Emic SSh300 estavam disponíveis no laboratório de materiais de construção da Universidade de Passo Fundo. Os corpos de prova utilizando o traço intermediário e variando no concreto a granulometria da areia, foram ensaiados quanto à resistência à compressão aos 7 dias e aos 28 dias, tendo os resultados mostrados nas tab. 7 e 8.

Tabela 7. Resistência à compressão aos 7 dias.

| Testes | Tipo de areia | Resistencia a compressão 7º dia (MPa) | | Media dos resultados |
|---|---|---|---|---|
| | | CP1 | CP2 | Resistencia (MPa) |
| 1 | Fina | 15,51 | 14,55 | 15,03 |
| 3 | Media | 6,22 | 6,78 | 6,50 |
| 5 | 50% Fina e 50% Media | 12,87 | 14,36 | 13,61 |
| 7 | 50% Media e 50% Grossa | 12,08 | 11,87 | 11,97 |
| 9 | Areia Grossa | 5,82 | 6,47 | 6,14 |

Tabela 8. Resistência à compressão aos 28 dias.

| Testes | Tipo de areia | Resistencia a compressão 28º dia (MPa) | | Media dos resultados |
|---|---|---|---|---|
| | | CP1 | CP2 | Resistencia (MPa) |
| 2 | Fina | 18,95 | 20,49 | 19,72 |
| 4 | Media | 11,18 | 11,71 | 11,45 |
| 6 | 50% Fina e 50% Media | 20,57 | 29,42 | 25,00 |
| 8 | 50% Media e 50% Grossa | 21,85 | 20,87 | 21,36 |
| 10 | Areia Grossa | 8,28 | 8,96 | 8,62 |

Os testes iniciais do número 1 ao 10 tiveram como melhores resultados de resistência à compressão, o concreto cujas areias utilizadas foi a areia fina e a areia média. Porém, para a realização dos próximos testes se modificou os traços, a areia utilizada foi a areia média, pois a mesma apresentou o melhor resultado para a densidade do concreto e apresentou resultados de resistência à compressão satisfatórios.

Os corpos de prova nos quais se testaram diferentes traços para o concreto celular espumoso, foram ensaiados à compressão aos 7 dias e aos 28 dias. Os resultados de resistência à compressão destes testes estão apresentados nas tab. 9 e 10.

Tabela 9. Resistência à compressão em relação ao traço aos 7 dias.

| | | Resistencia a compressão 7º dia (MPa) | | Media dos resultados |
|---|---|---|---|---|
| Testes | Tipo de areia | CP1 | CP2 | Resistencia (MPa) |
| 11 | Média (Traço Pobre) | 9,75 | 10,91 | 10,33 |
| 13 | Média (Traço rico) | 0,12 | 0,15 | 0,14 |

Tabela 10. Resistência à compressão em relação ao traço aos 28 dias.

| | | Resistencia a compressão 21º dia (MPa) | | Media dos resultados |
|---|---|---|---|---|
| Testes | Tipo de areia | CP1 | CP2 | Resistencia (MPa) |
| 12 | Média (Traço Pobre) | 18,88 | 19,02 | 18,95 |
| 14 | Média (Traço rico) | 0,66 | 1,47 | 1,07 |

Com os resultados e as avaliações da pesquisa percebe-se que o objetivo do trabalho foi atingido, ou seja, pode-se através dos testes avaliar os traços e as granulometrias do agregado miúdo na produção do concreto celular espumoso. Porém, os resultados de densidade e de resistência à compressão atingidos não foram satisfatórios em relação à NBR 12646 (1992). Para que a meta fosse alcançada, o concreto celular espumoso produzido no trabalho deveria atingir uma densidade no estado endurecido de 800 kg/m³ e uma resistência à compressão de no mínimo 2,5 MPa aos 28 dias. Porém o melhor resultado de densidade atingido foi no grupo composto pelos testes 13 e 14 sendo essa de 955,89 kg/m³, na qual se utilizou como agregado a areia média e o traço rico de 1:0,75. Para esse mesmo grupo de testes a resistência média a compressão obtida aos 28 dias foi de 1,07 MPa, o que ficaria abaixo da resistência esperada de 2,5 MPa aos 28 dias. Logo o melhor resultado de resistência à compressão atingido neste trabalho foi no grupo dos testes 5 e 6, sendo utilizado traço intermediário 1:1,25 e areia composta 50% fina e 50% média, na qual se atingiu 25 Mpa. Porém a densidade nesse grupo de testes ficou em 1549,33 kg/m³, ou seja, muito acima dos 800 kg/m³ que é o mais favorável segundo a norma.

Os trabalhos de conclusão de curso de Lencini (2015) e Nardi (2015) sobre concreto celular espumoso, ambos da Universidade de Passo Fundo, tiveram resultados de densidade satisfatórios, chegando com resultados muito próximos de 900 kg/m³, densidade estipulada como meta. Porém ambos os trabalhos não conseguiram atingir a resistência mínima de 2,5 MPa como é exigido pela norma. Nardi (2015) que incorporou cinza volante na mistura, alcançou os melhores resultados de resistência à compressão aos 28 dias, sendo o melhor deles o de 1,51 MPa. O fato de não ter conseguido atingir a resistência à compressão esperada, foi colocado segundo o autor como possível causa, o excesso de água incorporada à mistura através da espuma adicionada, aumentando assim a relação água/cimento. Concorda-se que esta seja uma das possíveis causas para não se ter atingido os valores recomendados pela norma, mas além disso outra possível causa está relacionada ao dispositivo gerador de espuma, que no início da pesquisa foi montado de acordo com o trabalho de Lencini (2015). O fato de Lencini (2015) e Nardi (2015) não terem alcançado a resistência ideal do concreto bem como o presente trabalho, abre a possibilidade de o dispositivo não estar gerando a espuma ideal para a confecção do concreto celular espumoso, visto que não se tinha no manuseio do dispositivo a possibilidade de controlar a vazão da bomba bem como a pressão de ar do compressor, o que fez com que o ar não fosse incorporado nos concretos da maneira como deveria.

## 4. CONCLUSÃO

Pesquisas como a realizada neste trabalho buscam a evolução dos materiais, tentando cada vez mais encaixar a mesma no conceito de sustentabilidade. O concreto celular espumoso surge nesse meio visto que a incorporação de ar realizada em sua pasta de cimento acarreta em uma redução considerável de densidade, fazendo com que este concreto precise de uma quantidade menor de materiais em sua produção.

Portanto, analisando todos os resultados obtidos nesse trabalho conclui-se que para esses materiais e traços testados a melhor areia a se utilizar para produção do concreto celular espumoso é a de granulometria média. Já no comparativo dos traços testados, o traço intermediário 1:1,25 recomendado pela empresa desenvolvedora do aditivo e o seu traço rico 1:0,75, são os que possuem melhor probabilidade de desenvolver um concreto celular espumoso que atenda à NBR 12646 (1992).

## 5. REFERENCES

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7211**: agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 248**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 11768**: aditivos químicos para concreto de cimento Portland - requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12646**: paredes de concreto celular espumoso moldadas no local. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 13440**: blocos de concreto celular autoclavado - métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013a.

BREMER, C. F. et al. Avaliação das práticas de susten-tabilidade adotadas em empreendimentos de construção civil de belo horizonte. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 23-28, jan./jun. 2013. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/1683/1058>. Acesso em: 15 ago. 2017.

FERREIRA, O. A. R. Concreto celulares espumosos. Escola Politécnica USP, São Paulo, out. 1987. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00010.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2017.

LENCINI, L. C. J. **Fabricação de mecanismo de espuma**: elaboração do concreto celular. 2015. Xf. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

NARDI, N. M. E. **Concreto celular espumoso**: substituição de parte do material aglomerante pelo resíduo cinza volante. 2015. Xf. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

SILVA, C. A. O. **Estudo de dosagem e avaliação de concreto celular com fins estruturais**. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015. Disponível em: <https://goo.gl/AEy8oR>. Acesso em: 15 ago. 2017.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS NA REGIÃO DE ERECHIM – RS: ESTUDOS DE CASO

**Emanuela Pansera**
**Higor Vinícius Strapasson**
**Karina Pereira da Cruz**
**Magda Luísa Tebaldi**
**Ronaldo Pagliarini Faccio**
**Cristina Vitorino da Silva**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
*emanuelapanseira.l@gmail.com*, *higor.strapasson@hotmail.com*, *karina_dacruz@hotmail.com*, magda_tebaldi@yahoo.com.br, *ronaldopfaccio@gmail.com*, *cristina@uricer.edu.br*

***Resumo:*** *Este trabalho apresenta resultados de levantamento de dados realizado em edificações na cidade de Erechim-RS e região. Através de uma pesquisa bibliográfica, foi feita a descrição das características de cada um dos tipos de manifestações patológicas encontradas nos revestimentos externos. O objetivo deste trabalho foi analisar os processos que resultaram o surgimento de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos e argamassados em edifícios da região de Erechim - RS, afim de observar suas possíveis causas e formas de recuperação, com o intuito de diminuir a ocorrência desses problemas. Foi possível observar que, devido aos edifícios serem executados com sistemas construtivos convencionais e apresentarem pouco controle de qualidade nos serviços e materiais empregados, as manifestações patológicas encontradas nessas construções, independentemente de sua idade, costumam ser as mesmas. A pesquisa permitiu constatar diversas manifestações patológicas sendo as de maior ocorrência: fissuração, vesícula, mofo, umidade, eflorescência e descolamento dos revestimentos argamassados e de placas cerâmicas.*

***Palavras chave:*** *manifestações patológicas; revestimento cerâmico; revestimento argamassado.*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria da construção civil, nos cenários nacional e internacional, tem sido marcada pelo uso de novos materiais e desenvolvimento de tecnologias construtivas pouco abordadas cientificamente (Antunes, 2010). O revestimento é parte integrante da vedação de fachadas e contribui para a durabilidade dos edifícios. Diante disso, é de grande importância que se tenha conhecimento das manifestações patológicas que podem ocorrer nestes revestimentos (Groff, 2011).

Os pesquisadores do setor têm manifestado sua preocupação com a qualidade das edificações e apostam no estudo sistemático dos problemas, como contribuição para o seu entendimento, orientação de novas técnicas construtivas e de recuperação (Terra, 2001). A partir disso, foi vista a necessidade de avaliar corretamente as edificações para que fossem estabelecidas medidas corretivas adequadas aos diagnósticos das manifestações patológicas apresentadas. Este trabalho tem como tema manifestações patológicas de revestimentos de fachadas em construções na cidade de Erechim-RS e região. Os tipos de revestimentos analisados foram argamassados e cerâmicos.

## 2. AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ORIUNDAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Após a conclusão das obras da construção civil, espera-se que atendam as utilizações e exigências para as quais foram projetadas, como por exemplo, o que é estabelecido na NBR 15575 – Edificações Habitacionais: Desempenho. A qualidade e a durabilidade das edificações devem sempre ser asseguradas, manutenções devem ser previstas, pois a construção pode apresentar, ao longo do tempo, manifestações patológicas. Inspecionar, avaliar e diagnosticar as patologias da construção são tarefas que devem ser realizadas sistematicamente e periodicamente, de modo a que os resultados e as ações de manutenções devem cumprir efetivamente a reabilitação da construção, sempre que for necessária (Granato, 2002).

Diversos fatores contribuem para a degradação das construções, dentre eles as variações de temperatura, reações químicas, vibrações, erosão, má execução das obras, uso inadequado de materiais, materiais de qualidade inferior, entre outros. Quando surge uma manifestação patológica em edificação, algumas tarefas devem ser executadas para que seja feita da melhor maneira a correção do problema. Um cronograma deve ser seguido:

a) Análise dos sintomas: detecção do problema através de uma série de métodos e análises, em busca do fator que originou a falha, defeito ou danos.

b) Diagnóstico do problema: entendimento dos sintomas, mecanismos, causas e origem da manifestação patológica.

c) Correção: metodologia utilizada para a eliminação dos defeitos causados pelos problemas patológicos.

d) Recuperação: correção do problema, com a realização de reparos, reforços ou até mesmo a reconstrução dos elementos afetados pelas manifestações patológicas (Granato, 2002).

## 2.1 Tipos de Manifestações Patológicas

A manifestação patológica nunca é atribuída a uma única causa, ela se caracteriza pela combinação de diversos fatores, podendo ainda ser seguida por uma sobreposição de efeitos, que se acumulam até que se resulte em um dano maior. Dentre as inúmeras manifestações patológicas em revestimentos, as mais comuns são as fissuras, descolamentos, eflorescências, mofo e bolor, vesículas e umidade.

As manifestações patológicas que surgem nos sistemas de revestimentos, apesar de manifestarem em alguns componentes específicos, podem ou não ser originários nos mesmos. É possível que eles estejam vinculados a danos ou falhas de outros elementos da edificação cujo contato íntimo ou não com os mesmos foi capaz de promover a propagação do dano (Antunes, 2010).

### 2.1.1 Fissuras

As fissuras são formadas quando as tensões excedem a capacidade do material em resistir estes esforços (Roça, 2014), ou pela realização do movimento dos materiais e elementos da construção que, na maioria dos casos, tendem a se acomodar. Podem ainda ser resultado de vibrações na área.

Elas são classificadas de acordo com a profundidade e características da abertura. Fissuras apresentam aberturas menores que 0,5mm, já as trincas possuem aberturas maiores que 0,5mm, enquanto as rachaduras possuem abertura acentuada e profunda, a dimensão da patologia é superior a 1mm, sendo que em alguns casos pode abrir fendas de um lado ao outro da parede (Gonçalves, 2015).

### 2.1.2 Vesículas

As vesículas constituem-se do empolamento da pintura. Esta patologia se caracteriza pela expansão de bolhas de coloração branca, preta ou vermelho-ferrugem. As prováveis causas estão relacionadas à presença de matéria orgânica, de pirita ou de material ferruginoso na areia ou em função da hidratação tardia da cal (Tcatch e Piovesan, 2019).

### 2.1.3 Mofo ou Bolor

O bolor é uma alteração observável macroscopicamente na superfície de diferentes materiais, sendo uma consequência do desenvolvimento de microrganismos pertencentes ao grupo dos fungos. Nas edificações, os fungos promovem a decomposição de diferentes tipos de componentes, notadamente dos revestimentos, ou de material orgânico sobre estes depositados. O bolor se apresenta com coloração escura, normalmente preta, marrom ou verde. Os microrganismos que geram o bolor ou mofo desenvolvem-se e se proliferam em condições de clima favorável, como em ambiente bastante úmidos, mal ventilados e/ou mal iluminados (Antunes, 2010).

### 2.1.4 Eflorescência

O termo eflorescência tem como significado a formação de depósito salino na superfície de alvenarias, isso sendo resultado da exposição de intempéries. A eflorescência é constituída, quimicamente, por sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio), solúveis ou parcialmente solúveis em água. Diante disso, pela água da chuva ou do solo, o elemento irá estar saturado e os sais serão dissolvidos. Depois a solução migra para a superfície e, por evaporação, a água sai, deixando, na base do elemento, um depósito salino. Os danos da eflorescência são notadamente de ordem estética e apresentam-se, normalmente, na coloração esbranquiçada (Uemoto, 1988).

### 2.1.5 Descolamento de Revestimentos

O descolamento é um problema causado pelo incremento da deficiência na aderência das ligações entre as camadas que constituem o sistema de revestimento. O mesmo ocorre ao longo do tempo e não está associado necessariamente à queda imediata do revestimento ou de placas cerâmicas. Inicia-se com a ruptura na interface entre camadas e com a formação de bolsões que se propagam tornando o sistema de revestimento instável estruturalmente. Este problema se manifesta nas placas cerâmicas através de um som cavo, ou ainda nas áreas em que se observa o afastamento físico da camada de acabamento (Antunes, 2010).

### 2.1.6 Umidade

Na construção civil, os defeitos mais comuns são decorrentes da penetração de água ou devido a formação de manchas de umidade. Esses defeitos geram problemas bastante graves e de difíceis soluções. Os problemas de umidade podem se manifestar em diversos elementos da edificação, paredes, pisos, fachadas, elementos de concreto armado, etc. Geralmente eles não estão relacionados a uma única causa (Suplicy, 2012).

## 3. METODOLOGIA

Por meio da metodologia ativa PBL – aprendizagem baseada em problema (do inglês Problem Based Learning), para a realização deste trabalho, foram realizadas visitas in loco em 4 obras aleatórias, na cidade de Erechim – RS e região, em busca de verificar se as mesmas apresentavam algum tipo de manifestação patológica. Através de análise visual das construções, foram detectados quais problemas estavam ocorrendo, e na procura de uma possível causa para tal problema, alguns parâmetros extrínsecos foram considerados, como a posição solar em que a obra se localiza, a agressividade em que se encontra, as faixas de variações de temperatura da região, as cores utilizadas nos revestimentos, se a obra foi construída próxima à córregos, rios ou sobre aterro, dentre outros.

Realizou-se ainda, um levantamento sobre as possíveis condições em que tais obras foram construídas, os materiais utilizados, os projetos e os métodos como foram executados. A partir da coleta e análise de todas informações obtidas buscou-se estabelecer possíveis medidas corretivas, que sejam indicadas para o reparo das manifestações patológicas encontradas.

## 4. RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO

### 4.1 Salão Paroquial do Município da Barra do Rio Azul

O primeiro estudo de obra utilizado neste trabalho, realizou-se em um edifício histórico conhecido como Salão Paroquial pertencente a Igreja Matriz Nossa Senhora Medianeira, localizado no centro do município de Barra do Rio Azul - RS. A construção do edifício histórico iniciou-se por volta do ano de 1938 e concretizou-se no ano de 1950. O edifício conta com dois pavimentos construídos em concreto armado, onde todo o processo construtivo foi realizado manualmente com o uso de ferramentas agrícolas e com os materiais da região, como pedra e areia de rio.

O edifício histórico apresenta-se em grande estado de deterioração da sua estrutura devido aos agentes agressivos que atuam diretamente sobre ela. Através da inspeção visual, identificou-se a presença de descolamento por empolamento devido a presença de inúmeras bolhas na superfície da parede, fazendo com que ocorresse a degradação da pintura (Figura 1.a). Verificou-se também a existência de eflorescências do tipo 1 em grande parte da estrutura no seu ambiente externo, onde grande parte do agente causador dessa manifestação patológica é a umidade (Figura 1.b). Existem outros fatores que possuem grande influência para a ocorrência das eflorescências, como o uso de materiais que contenham sais solúveis em sua composição, características do processo de fabricação e armazenamento dos materiais. A idade da construção também deve ser levada em consideração, devido à escassez de tecnologias aplicadas à sua construção.

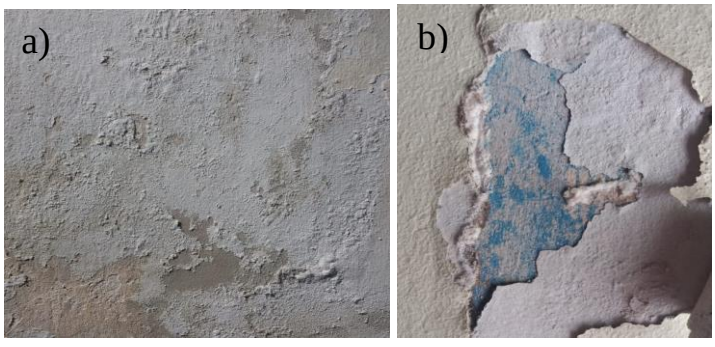



Figura 1. a) Descolamento por empolamento; b) Eflorescências

Atualmente, identificou-se que está sendo realizada a recuperação da estrutura. Primeiramente, realizou-se a limpeza com jatos de água fria sobre a estrutura para a remoção do material deteriorado (Figura 2.a). Em seguida, realizou-se o fechamento das fissuras presentes com selante elástico (Figura 2.b) e o acabamento da superfície com material impermeabilizante, e posteriormente a pintura (Figura 2.c). Como forma de prevenção, deve-se realizar a manutenção preventiva, que está associada a uma ação planejada com base em rotinas de inspeção, limpeza e reparação, no intuito de acarretar um aumento na vida útil da edificação, melhoria no desempenho de equipamentos e instalações em geral, além de garantir a segurança, o conforto e a economia para o proprietário e para todos os indivíduos que utilizam o edifício (Villanueva, 2015).

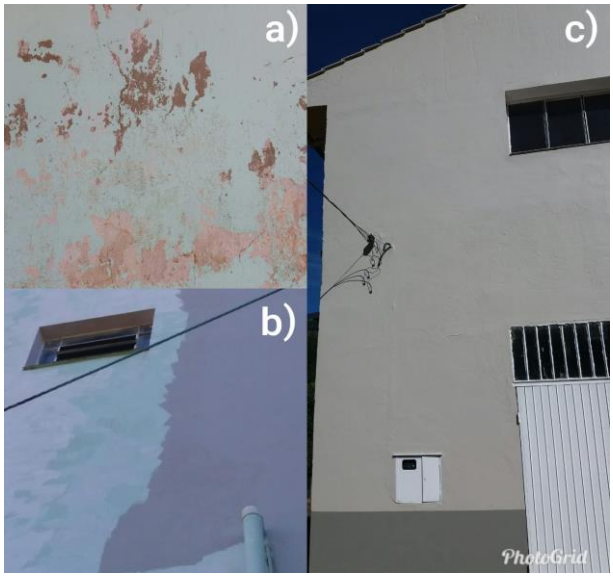



Figura 2. Processo de recuperação da estrutura. a) Limpeza da superfície; b) Fechamento das fissuras; c) Pintura.

### 4.2 Sala Comercial

Verificou-se uma loja comercial de atacado e varejo, situada no pavimento térreo de um edifício residencial comercial, localizado na Av. Tiradentes, na cidade de Erechim-RS. Em um ambiente urbano, a edificação foi concluída a mais de 15 anos, onde possui frente e fundos para duas diferentes ruas, estando com os acessos em dois níveis e parte da edificação com divisas em aterros. A loja tem os fundos e a lateral esquerda com o terreno vizinho em um nível acima, fazendo divisa com aterro, sem possível ventilação através das paredes.

Com a análise do projeto, foi elencado a falta de drenos nas laterais, e não é possível verificar se a edificação possui impermeabilização e se esta foi feita de forma correta. Nestas laterais da loja, foi encontrado algumas manifestações patológicas, como mofo e bolor, além de descolamento do revestimento argamassado, provocados pela umidade. Nos pilares do local, foi verificado o descolamento do revestimento, devido a umidade ascensional das fundações, conforme ressaltado por Abrantes e Silva (2007), que estabelece que paredes de alvenaria em contato com solos úmidos ocorre o fenômeno de ascensão capilar da água. Essa manifestação patológica foi causada possivelmente pela falta ou incorreta execução da impermeabilização das fundações, pelo fato de em todos os pilares ocorrer esta manifestação. A Figura 3 mostra tais problemas.




Figura 3. a) mofo; b) bolor; c) descolamento do revestimento argamassado.

Como o local não possui acesso nas laterais, não foi possível realizar manutenções externamente. Apenas pelo interior da loja, foi realizado a cada 2 anos, a retirada do bolor e do revestimento descolado por meio de raspagem, realizando a limpeza e a execução do novo revestimento argamassado e pintura interior. Um reparo interessante seria utilizar aditivo impermeabilizante na argamassa para o reboco interno destes locais, possibilitando um possível

retardamento do problema. Deve-se estudar a possibilidade de executar drenos externamente e fazer a impermeabilização da divisa externamente.

### 4.3 Apartamento Residencial

A obra é um apartamento com mais de 20 anos, localizado na cidade de Erechim-RS. Segundo informações do proprietário, foram realizadas reformas nos banheiros a pouco mais de 5 anos, mas este não soube informar como foi executada a camada de impermeabilização no local.

Após esta reforma, no banheiro inferior, surgiram bolores causados pela umidade, que provém da infiltração do banheiro no pavimento superior. Nota-se manchas mais escuras, em alguns lugares no gesso do teto, no banheiro do pavimento superior é possível notar que em muitos lugares no box do chuveiro não se encontra mais o fechamento da junta de assentamento com rejuntes, conforme a Figura 4.

Como possíveis causas, pode-se citar a má execução da camada de impermeabilização do banheiro superior com a reforma realizada, e, portanto, a infiltração da água, que se apresenta no teto do banheiro inferior. Essas manifestações patológicas vão ao encontro das apresentadas por Machado e Alencar (2019) que ressaltam a importância da impermeabilização de elementos de fundações, paredes e pilares afim de evitar esse tipo de manifestação patológica.

Para o reparo indica-se:

- No banheiro inferior: Retirar toda a camada de revestimento e refazer toda ela
- No banheiro superior: Indica-se a retirada de todo o revestimento, e execução do mesmo da maneira correta, com a impermeabilização de toda a área do piso do box e a 1,50 de altura nas paredes do box (NBR 9574, 2008).




Figura 4. Problemas causados pela umidade. (a) manchas escuras; (b) Ausência de rejunte

### 4.4 Edificação Residencial e Comercial

Ainda neste contexto, foi possível identificar um edifício residencial e comercial, localizado na Av. Sete de Setembro, na cidade de Erechim - RS, edifício com idade aparente de 20 anos, exposto a um ambiente urbanizado, sendo este um forte centro comercial.

A partir da inspeção visual foi possível determinar que a edificação possui estrutura em concreto armado, vedadas por tijolos cerâmicos, e recoberto com cerâmica de cores azul capri e argila. A avaliação foi realizada na fachada comercial, mais especificamente na avaliação da cerâmica de cor azul capri, foi possível estimar por meio de fotogrametria uma porcentagem aproximada de 10% das peças azul capri dispostas na fachada principal estão descoladas, como apresenta a Figura 5.

Foi possível identificar a existência de descolamento devido a execução defeituosa no momento do assentamento das placas cerâmica, sendo as ranhuras originadas pela desempenadeira ainda visíveis. Na Figura 6.a, pode-se observar um descolamento da placa cerâmica conjuntamente com a argamassa, e descolamento apenas da cerâmica, sendo possível inclusive observar as ranhuras da desempenadeira.

Conforme foi observado nas fotos, a presença das ranhuras da desempenadeira pôde demostrar como sendo uma falha da mão-de-obra na execução dessa camada, que causou um retardo na hora de assentamento provocando um ressecamento e a queda da resistência e da aderência da argamassa de assentamento e condenando o serviço. Outras falhas secundárias que podem ter causado o surgimento desta manifestação patológica consistem na ausência de uma junta de movimentação, além da ausência de rejunte em alguns pontos da fachada permitindo a entrada de umidade. A origem dos descolamentos tem como fatores a falta de juntas, inadequações das argamassas de emboço, assentamento e rejuntes e a preparação deficiente da base (Sabbatini, 2011).



Figura 5. Descolamento de placas cerâmicas.

Ainda no edifício em estudo foi possível identificar a presença de eflorescências, outro tipo de manifestação patológica no revestimento cerâmico da fachada. Esta pode ser observada na Figura 6.b.

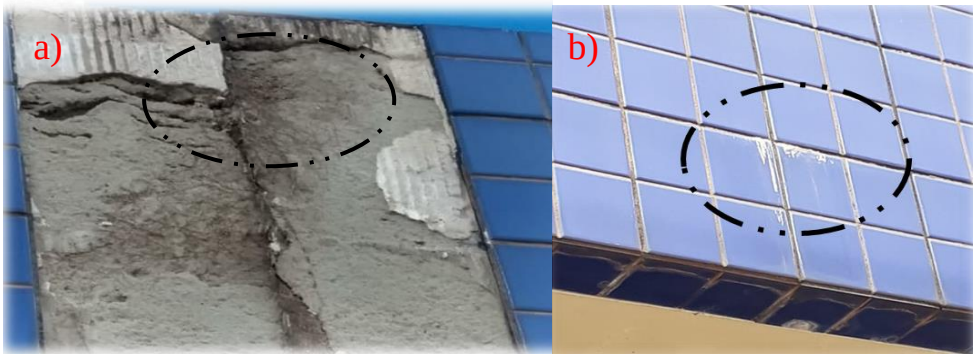



Figura 6. a) Descolamento de placas cerâmicas com argamassa; b) Eflorescência.

Como foi observado, a manifestação patológica possivelmente está relacionada as falhas no rejunte, ou este foi aplicado antes do tempo de cura da argamassa de assentamento. Para prevenir essa patologia deveria ter sido executada uma impermeabilização, respeitando os tempos de cura e utilizando os materiais de limpeza recomendados. Para Bauer (1995), os descolamentos podem ser causados por erros de execução, uso de materiais inadequados ou desconhecimento acerca das suas características, deficiências na etapa de projeto, além da falta de manutenção.

Uma alternativa a fim de procurar solucionar este problema seria realizar a limpeza da fachada com ácido acético, e realizar uma manutenção realizando a troca dos rejuntes fissurados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término desse trabalho, pôde-se verificar que as manifestações patológicas encontradas com maior frequência foram: fissuração, vesícula, mofo, umidade, eflorescência e descolamento dos revestimentos argamassados e de placas cerâmicas. Estas manifestações poderiam ser amenizadas e, em algumas situações até mesmo mitigadas, se fossem tomados cuidados, dando devida importância a concepção de projeto, as especificações, controle de qualidade, que as obras fossem executadas em conformidade com as normas técnicas e também a boa qualidade dos materiais empregados. Maiores cuidados com a manutenção também poderiam evitar a ocorrência de muitas dessas manifestações patológicas.

A partir do uso da relação das causas prováveis/manifestação patológica, foi possível concluir que a ação de fatores climáticos exerce grande influência no aparecimento de praticamente todos os problemas encontrados nas fachadas das obras de estudo, e que tanto o descolamento de revestimento argamassados, como o de placas cerâmicas são os danos com maior número de causas atreladas a sua ocorrência. Devido a avaliação dessas obras ser baseada em observações visuais a partir de visitas, somente foi possível identificar manifestações patológicas superficiais aos revestimentos.

Considerando os resultados, os tipos e as causas das manifestações patológicas identificadas nestas edificações, é possível realizar novas avaliações de obras semelhantes a estas. Diante disso, esse trabalho poderá ser utilizado futuramente como base de dados para novas pesquisas nessa área, envolvendo diagnóstico de manifestações patológicas para construções em Erechim – RS e região.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – sistematização da incidência de casos. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2010 (Dissertação de Mestrado). 199 P.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9574: Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro, p. 18. 2008.

BAUER, R. Descolamento em revestimentos cerâmicos, análises e recomendações. In Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas ANTAC, Goiânia, 1995. Anais. Goiânia. p. 193-201.

GONÇALVES, E.A.B. Estudos de Patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. Projeto de Graduação da Escola Politécnica Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

GROFF, C. Revestimentos em fachadas: análise das manifestações patológicas nos empreendimentos de construtora em Porto Alegre. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2011.

MACHADO, K.M.; ALENCAR, E.A.B. Levantamento de patologia causada por umidade nas edificações na cidade de Manaus – Amazonas, 2019.

ROÇA, B.G. Análise das manifestações patológicas de uma edificação residencial - estudo de caso. Monografia apresentada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil, 2014.

SABBATINI, F.H.; BARROS, M. M. S. B. Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas. 2001. Revisão do relatório técnico; Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação e em alvenaria - Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, R6-06/90. São Paulo.

SILVA, I. T. Identificação dos fatores que provocam eflorescências nas construções em Angicos/RN. Monografia apesentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Angicos, Rio Grande do Norte, 2011.

SILVA, J.M.; ABRANTES, V. Patologia em paredes de alvenaria: causas e soluções. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. pg. 65-84. 2007.

SUPLICY, G.F.S. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. Trabalho de conclusão de curso no Programa de Pós-graduação Lato Sensu Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012.

TCATCH, R. K.; PIOVESAN, A. Z. Manifestações patológicas em revestimentos de argamassa: estudo de caso das anomalias observadas em edificações nos municípios de Campos Novos (SC) e Herval D'Oeste (SC). Anuário pesquisa e extensão UNOESC, Joaçaba, 2019.

TERRA, R.C. Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2001.

UEMOTO, K. L. Patologia: Danos causados por eflorescência. Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1988. p.561-64.

VILLANUEVA, M.M. A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação. Projeto de Graduação da Escola Politécnica Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE ATERRO PARA RESÍDUOS URBANOS

**Fabíula Ariane Zuravski**
**Leonardo Menegon Cieslak**
**Mateus Badalotti Santin**
**Natália Alves Checato**
**Suelen Vanzetto**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
fabiula.a.z@hotmail.com
leonardoc00@hotmail.com
mateusbsantin@gmail.com
nathi.alves.checato@gmail.com
suelen@uricer.edu.br

**Resumo:** *Os problemas ambientais causados pelos resíduos sólidos urbanos relacionados à produção e consumo resultam em uma crescente geração de resíduos que na maioria das vezes são lançados na natureza de forma inadequada, implicando a contaminação do ar, solo e água. Para tanto, medidas públicas foram criadas para a inserção de locais com menor impacto ambiental, uma delas é a lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que determinou aos municípios brasileiros que até 02 de novembro de 2014 extinguissem os lixões a céu aberto e a adesão aos aterros sanitários. Diante disso, o presente artigo buscou descrever por meio de revisão bibliográfica os diversos aspectos relacionados a construção de aterros sanitários.*

***Palavras chave:*** *Aterro Sanitário. Resíduos sólidos. Formas de aterramento.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), gerados através da atividade humana, provenientes de residências, indústrias, hospitais e construções vêm crescendo constantemente e apesar de existirem medidas para reutilização desses resíduos, como reciclagem, compostagem e geração de energia, a grande quantidade gerada não é comportada pela baixa quantidade de destinos finais ambientalmente adequados, tornando inevitável a disposição final dos RSU em aterros sanitários.

O aterro sanitário pode ser considerado uma técnica adequada para a disposição dos RSU no solo, sem causar danos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais (CARVALHO & OLIVEIRA, 2010), basicamente trata-se em intercalar resíduos comprimidos em uma menor área e volume possível, com camadas de terra, distante das cidades em razão do mau cheiro.

Para que os aterros sanitários se configurem como unidades de tratamento de resíduos que não causem danos ao meio ambiente e à saúde, devem ser feitos estudos geológicos e topográficos e possuir o acompanhamento e monitoramento adequado da topografia da área, tipo de solo e profundidade do lençol freático. Esses elementos são de fundamental importância, pois, quando bem executados e monitorados, tornam a obra segura e ambientalmente correta, com reflexos diretos na melhoria da qualidade de vida da população do entorno do aterro (CARVALHO & OLIVEIRA, 2010).

A norma da ABNT NBR 8419/1992 define aterro sanitário como um local para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos sem causar grandes impactos ao meio ambiente e a saúde pública, e baseia-se em critérios de engenharia e normas operacionais, sendo caracterizado por esses critérios como uma forma segura de disposição final dos resíduos (CETESB, 1992).

O aterro sanitário sem dúvida é uma necessidade, e a melhor forma de destinação final adequada de resíduos e o presente trabalho visa à apresentação dos três métodos construtivos: trincheira, rampa e área.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Disposição Final dos Resíduos Sólidos

Quando se esgota todas as formas de tratamento de resíduos, o mesmo deve ter uma destinação final adequada. No Brasil há três formas de destinação final:

a) Lixão ou Vazadouro: É uma destinação inadequada de resíduos, além de ser ilegal segundo a legislação brasileira, é caracterizado por descarregar os resíduos sobre o solo, os resíduos ficam a céu aberto sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Além disso, o lençol freático pode ser contaminado pelo chorume originado da decomposição da matéria orgânica. Deste modo o Lixão não pode ser considerado uma forma adequada de destinação final de resíduos (CASTILHOS et al, 2003).

b) Aterro Controlado: É um método que confina os resíduos sólidos urbanos, se trata basicamente de um lixão coberto de terra, onde não há coleta e tratamento dos efluentes líquidos e gasosos produzidos, não tem proteção do solo e contamina os lençóis freáticos. Assim como os lixões devem ser exterminados, portanto não é uma destinação final adequada (LANGE et al, 2003).

c) Aterro Sanitário: Nessa técnica a disposição final dos resíduos urbanos é realizada sobre o terreno natural, o confinamento é feito com camadas de materiais inertes, na maioria das vezes, o próprio solo do local de modo a evitar danos ao meio ambiente, à saúde e à segurança pública. Em um aterro sanitário é necessário que tenha planos de monitoramento ambiental e geotécnico, medidas para coleta e tratamento de efluentes líquidos e gasosos produzidos. Das destinações finais de resíduos citadas, a única que pode ser considerada ambientalmente adequada seria a técnica de Aterro Sanitário (LANGE et al, 2006).

Na tabela a seguir, mostra-se a realidade das diferentes regiões brasileiras quanto à geração de resíduos e sua destinação final.

Tabela 1. Regiões do Brasil com suas destinações finais de resíduos.

| Região | Quantidade de resíduos (em 1000 toneladas/dia)* | Aterro Controlado (%) | Lixão a céu aberto (%) | Aterro Sanitário (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Sudeste** | 141,6 | 46,5 | 9,7 | 37,1 |
| **Nordeste** | 41,6 | 14,7 | 48,1 | 36,1 |
| **Sul** | 19,9 | 24,1 | 25,6 | 40,2 |
| **Centro-Oeste** | 14,3 | 32,9 | 21,7 | 39,2 |
| **Norte** | 11,1 | 27,9 | 56,8 | 13,5 |
| **Brasil** | 228,5 | 37 | 21,1 | 36,2 |

*1000 toneladas = $10^6$ kg

Fonte: IBGE (2008)

O Rio Grande do Sul possui O Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) que é um instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que foi instituída pela Lei Federal n°. 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, que permite ao Estado o conhecimento do panorama atual da situação dos resíduos sólidos, a partir do qual são definidas as diretrizes, estratégias, metas imediatas e de curto, médio e longo prazo necessárias para a gestão adequada de resíduos sólidos.

A tabela a seguir mostra a situação da Disposição Final de RSU segundo a PERS-RS 2015.

Tabela 2. Situação da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbano no RS.

| | **Adequada (Aterros Sanitários)** | **Inadequada (Aterros Controlados e Lixões)** | **Sem informação** |
|---|---|---|---|
| **População** | 83,6% | 16,2% | 0,2% |
| **N° Municípios** | 399 | 93 | 5 |
| **60 unidades de disposição de RSU em operação** | | | |
| **Adequadas** | | **Inadequadas** | |
| 19 | | 41 | |

No Brasil, de acordo com o **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos** - SINIR (2016) 59,17% dos municípios não têm destinação final adequada de rejeitos. Isso nos remete a um quadro de total descaso com a gestão dos resíduos a nível nacional. Destes, 10,84% ainda mantêm lixões ativos, prejudicando o meio ambiente, e colocando em risco a saúde da população.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS no seu Art. 3° define a Disposição Final ambientalmente adequada da seguinte maneira:

Lei 12.305/2010 Art. 3° Inciso VII – Disposição Final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos; (Título I – Capítulo II – Parágrafo VIII).

As formas mais conhecidas de disposição final de resíduos como foram citadas acima são o Aterro Sanitário, Aterro Controlado e Lixão a céu aberto.

A única forma ainda permitida por Lei, no Brasil, é o Aterro Sanitário.

a) "Lei 12.305/2010: Art. 9º: Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

b) Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

Conforme a NBR 8419/1992, aterro sanitário é uma técnica de disposição dos resíduos sólidos urbanos no solo. Deve ser acompanhada da compactação (menor área e volume possível) e seguida do seu soterramento no encerramento das atividades. Assim na repetição desse processo, dia após dia, são constituídas as células de lixo.

O depósito detém uma camada impermeabilizante (geomembrana) em sua base que impede o contato dos resíduos com o meio natural. Evitando assim a contaminação do solo e do lençol freático. Além disso, essa estrutura é provida por um sistema de drenagem de chorume na base do aterro que envia o material para estação de tratamento. Há também um sistema de drenagem de gás responsável pela coleta e queima desses gases, ambos os produtos são gerados da decomposição anaeróbia da matéria orgânica confinada no interior do aterro.

Ademais, a norma ABNT NBR 13896/97 define também as condições mínimas para a apresentação de projetos com base na NBR 8419/92. Estabelecendo assim critérios de implantação e operação de aterro sanitário de resíduos não perigosos. Em vista disso, recomenda-se a construção de aterro sanitário com vida útil mínima de 10 anos e ações de monitoramento por 20 anos.

Por fim, a Resolução CONAMA 404/2008, estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Aqueles com disposição de até 20 ton/dia de resíduos sólidos urbanos.

### 2.2 Métodos construtivos de aterro sanitário

Os aterros são diferenciados pelas formas construtivas, técnicas adotadas e tipos de terreno. As principais formas construtivas de aterramentos podem ser divididas em 03 (três). Abaixo se demonstra os principais métodos e suas definições.

#### 2.2.1 Método da Trincheira

É a técnica mais apropriada para terrenos que sejam planos ou pouco inclinados, e onde o lençol freático esteja situado a uma profundidade maior em relação à superfície.

Consiste na escavação de valas especialmente projetadas para o aterramento de resíduos, apresenta sempre um custo relativamente alto, pois exige a escavação de grandes valas, e somente deve ser utilizado em situações específicas, como as relacionadas a seguir: (Bernardes, Sabagg, Ferrari, 1999).

- Quando há interesse na formação de um excedente de solo;
- Quando não se deseja alterar a topografia original do terreno;
- Quando se pretende construir outras camadas de resíduos acima das valas já aterradas, permitindo um melhor aproveitamento da área;
- Quando se deseja aterrar resíduos especiais, seja pelo seu estado físico, seja pela sua composição química ou biológica, que pode torná-los perigosos à saúde pública e ao meio ambiente.

Quanto às dimensões as trincheiras subdividem-se em de grandes dimensões e de pequenas dimensões, pois fica relacionado com a quantidade de resíduos a ser aterrado e da vida útil desejada.

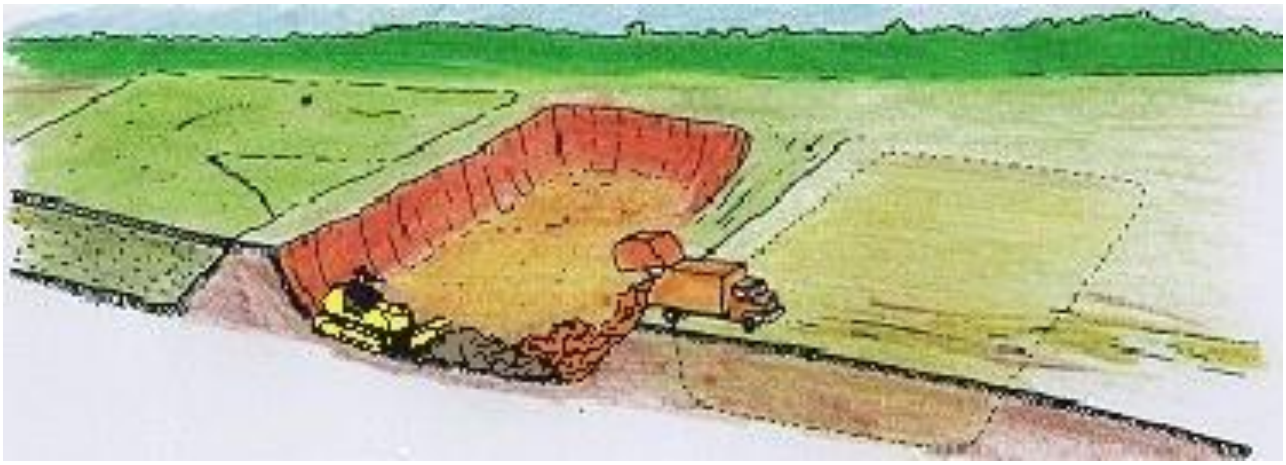


Figura 1. Representação do método da Trincheira.

### 2.2.2 Método da Rampa

Indicado quando a área a ser aterrada é plana, seca e com um tipo de solo adequado para servir de cobertura. A permeabilidade do solo e a profundidade do lençol freático confirmarão ou não o uso desta técnica (BERNADES; SABAGG; FERRARI, 1999).

Esse método consiste em depositar os resíduos sólidos na base de um desnível já existente, e logo depois o material é compactado com um trator de esteira.

É empregado quando o terreno onde será implantado o aterro apresenta topografia acidentada e em áreas planas onde o solo apresenta boas condições para ser escavado e utilizado como material de cobertura.

No emprego do método da rampa deve ser feita: em camadas de lixo mais ou menos 0,40 metro de espessura; a sobreposição dessas camadas dá origem a uma elevação de lixo de formato prismático. A camada de terra de cobertura deve ter aproximadamente 0,30 metros de espessura podendo, entretanto, atingir valores de até 0,50 metros ou mais, quando se utilizam solos com percentuais elevados de areias (Bernardes, Sabagg, Ferrari, 1999).

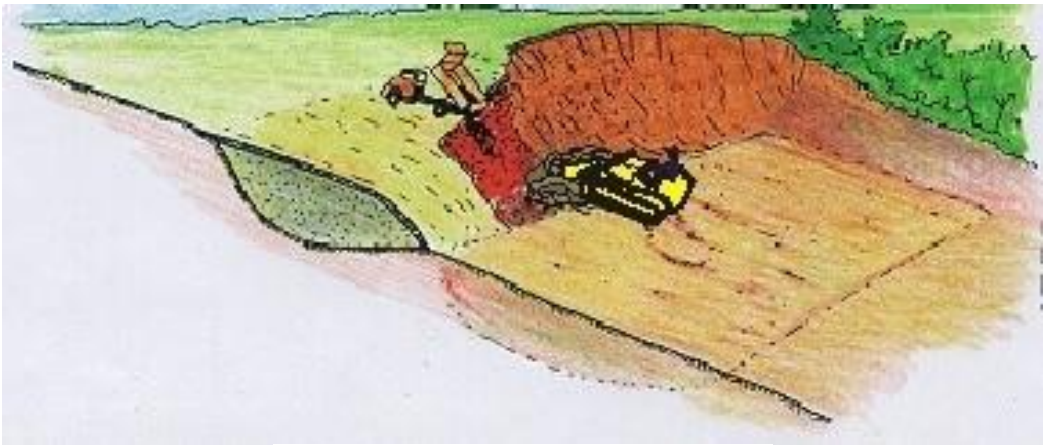


Figura 2. Representação do método da Rampa.

### 2.2.3 Método da Área

É uma técnica adequada para zonas baixas, onde dificilmente o solo local pode ser utilizado como cobertura. É necessário retirar o material de jazidas que, para economia de transporte, devem estar localizadas o mais próximo possível do local a ser aterrado. No mais, os procedimentos são idênticos ao método da rampa (Penido Monteiro et al, 2001).

Empregado geralmente em locais de topografia plana e lençol freático raso, devendo ser criados desníveis com próprios resíduos. Inicialmente, os resíduos são descarregados em um ponto estratégico do terreno, onde deverá ter

início o aterro, os mesmos são amontoados e compactados, formando uma elevação do formato de um tronco de pirâmide, que, finalmente, é coberta com terra. (Bernardes, Sabagg, Ferrari, 1999).

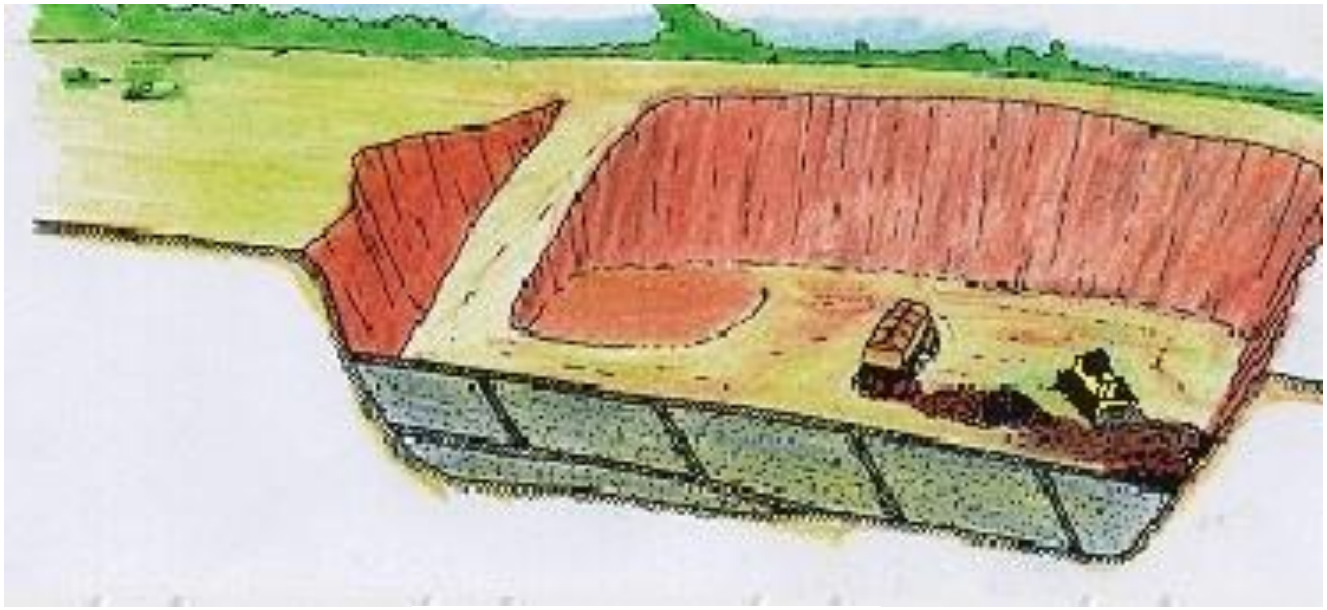


Figura 3. Representação do método da área.

## 3. DISCUSSÃO

Nos aspectos operacionais de um aterro sanitário estão envolvidos os seguintes fatores: Tráfego; Espalhamento de materiais; Ruídos e odores; Proliferação de vetores; Frente de operação; Manutenção das estruturas; Monitoramento ambiental. Esses fatores devem ser continuamente monitorados, pois eles podem mudar de situação conforme o desenvolvimento do aterro. Pois caso um dos aspectos listados, não sejam minuciosamente cuidados, haverá um descontrole dos aspectos físicos e químicos, transformando-os em verdadeiros lixões, colocando em risco a saúde do ambiente, fazendo com que os investimentos do projeto técnico se caracterizem como dinheiro perdido.

De acordo com CETESB (1997), o uso futuro das áreas aterradas com resíduos deve ser muito bem acompanhado, pois os resíduos ali depositados permanecem em processo de decomposição por um período relativamente longo após os encerramentos das descargas.

A edificação sobre aterros desativados é possível, já que a engenharia dispõe de técnicas adequadas para suprir as deficiências desse tipo de terreno. Entretanto, o problema está na infiltração dos gases gerados no aterro para o interior das edificações (BERNADES; SABAGG; FERRARI, 1999).

O gás metano, oriundo da decomposição dos materiais, em determinadas concentrações, quando se mistura ao ar atmosférico, pode ser inflamável e explosivo. Assim, a edificação de áreas aterradas deve ser evitada, salvo somente se houver absoluta comprovação que a estabilização dos materiais já se processou e que não há nenhum risco à saúde pública (BERNADES; SABAGG; FERRARI, 1999).

A respeito da implantação de áreas verdes em aterros desativados, CETESB (1997) aponta que a orientação de um profissional gabaritado é indispensável, pois o ambiente é inóspito à grande maioria dos vegetais, especialmente aqueles que possuem raízes profundas.

## 4. CONCLUSÃO

Os aterros sanitários são o destino dos resíduos sólidos em 27% das cidades brasileiras. Número bem abaixo do que o país precisa, mas que aumentou nos últimos anos, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, do IBGE. Há uma década, esse mesmo estudo apontou que apenas 17% dos municípios descartavam o lixo em aterros (BERNADES; SABAGG; FERRARI, 1999).

A elaboração, em 2010, de uma norma técnica que define as regras para a criação de aterros sanitários de pequeno porte trouxe um bom avanço ao setor. Antes só existiam normas para aterros convencionais, de resíduos perigosos e da construção civil.

O aterro sanitário para disposição final dos resíduos sólidos é a melhor saída para minimizar os problemas ambientais, porém a escolha do tipo de aterro abrange estudos geológicos e topográficos, além de estudos econômicos e financeiros. As áreas para disposição final de resíduos sólidos devem ser escolhidas segundo critérios pré-estabelecidos,

sendo necessário seguir alguns padrões para que o meio ambiente não se prejudique com a criação de um aterro. Para a disposição final é necessário o conhecimento das várias classes de resíduos que precisam de um tratamento, assim deixando de depositar resíduos perigosos em aterros sem capacidade de recebê-los.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aterros de resíduos não perigosos – critérios de projeto, implantação e operação – Procedimento: NBR-13896. Rio de Janeiro, 12p.1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: NBR-8419. Rio de Janeiro, 7p.1992.

Bernardes, JR., C.; Sabagg, M.A.F. e Ferrari, A.A.P., 1999. *Aspectos tecnológicos de projetos de aterros de resíduos sólidos.* In RESID'9, 1999, São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), p.51-68.

Carvalho, A.R. e Oliveira, M.V.C., 2010. *Princípios básicos do saneamento do meio*. São Paulo: SENAC. 401 p..

Castilhos JR., A.B.; Medeiros, P.A.; Firta, I.N.; Lupatini, G.; Silva, J.D., 2003.*Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 280p.

CETESB. *Operação e manutenção de lagoas de estabilização*. 90p. São Paulo, 1992.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estática – IBGE, 2002. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB de 2000.* Rio de Janeiro: IBGE.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT., 2000. *COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT/CEMPRE, 370p.

Lange, L.C.; Simões, G.F.; Ferreira, C.A.F., 2003.*Aterro Sustentável: Um Estudo para a Cidade de Catas Altas, MG.*

Lange, L.C.; et al., 2006. *Processos Construtivos de Aterros Sanitários: Ênfase no Estudo de Camadas de Cobertura como Mecanismo de Controle da Geração de Lixiviados*. RJ, Brasil.

Penido, M.J.H., et al., 2001. *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - Rio de Janeiro: IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal*. Rio de Janeiro.

Programa Nacional de Capacitação de Gestores Ambientais., 2009. Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA.

RESOLUÇÃO Nº 404 DO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos, 2008.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO ARENOSO COM CINZA DA CASCA DE ARROZ E CAL PARA UTILIZAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTO

**Jonatan Ferreira**
**Leonardo Menegon Cieslak**
**Mateus Badalotti Santin**
**Victor Manoel Passaglia**
**Suelen Cristina Vanzetto**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
jonatan.ferreira@live.com
leonardoc00@hotmail.com
mateusbsantin@gmail.com
vpassaglia@hotmail.com
suelen@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O presente trabalho teve como objetivo analisar e comparar dois trabalhos acadêmicos, sobre a viabilidade técnica do emprego de materiais alternativos no uso para estabilização de um solo classificado como arenoso, para ser utilizado em camadas de sub-base e base de pavimento rodoviário. A primeira pesquisa relata a realização do experimento com a utilização de um solo arenoso e inserindo uma mistura de cinza de casca de arroz (CCA) e cal, o mesmo utilizou duas combinações de teores de CCA e cal foram adotadas. Para efeito de comparação manteve-se o teor de CCA e alterar o teor do agente estabilizante, desta forma os experimentos adotados ficaram com as seguintes proporções, 80% solo, 15% CCA e 5% de cal, consequentemente o segundo experimento ficou formado da seguinte maneira 75% solo, 15% CCA e 10% de cal. No segundo caso foi utilizado um solo classificado como arenoso, e apenas cinza da casca de arroz como agente estabilizante, este por sua vez realizou sua análise utilizando as dosagens de CCA de 5%, 10% 15% de peso, uma amostra com o solo puro (in natura) também foi utilizada para comparativos de ganhos com a adição, nos dois trabalhos foram utilizadas energias de compactação de Proctor Normal (PN) e Intermediário (PI) e as amostras foram submetidas a ensaios de expansão e medição do Índice de Suporte Califórnia (ISC). No primeiro experimento com CCA e cal conclui-se que o incremento do ISC é significativo e a mistura 15%CCA + 5% cal atende a norma e é mais viável economicamente uma vez que necessita menos cal para atingir o valor de ISC da norma. No segundo caso foi analisado que todas as misturas atenderam o valor do ISC especificado pela norma e a mistura que poderia sem empregada seria a com15% de CCA uma vez que a utilização de CCA é maior, assim tornou-se melhor do ponto de vista ambiental.*

***Palavras chave:*** *Solo, Cinza da casca de arroz, Cal, Estabilização, Pavimentação*.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda por agregados naturais, que são insumos minerais vitais empregados na construção civil, e tendo significativa importância na construção de estradas, para atender essas crescentes necessidades de consumo do ser humano relacionadas a estas atividades (Silva, 2010). Uma das alternativas é o uso da reciclagem e incorporação de resíduos industriais, como novos produtos ou componentes que têm se intensificado nos últimos anos no Brasil. A principal justificativa na utilização destes resíduos é a minimização dos problemas ambientais e econômicos, causados pela disposição, tais como: ocupação de espaço, custo do recolhimento, processamento e degradação dos recursos naturais (Medeiros, 2010).

Segundo Bofante (2015), no estado de Santa Catarina, a produção no ano de 2014 foi mais de 1 milhão de toneladas de arroz. Baseando-se na hipótese que toda casca gerada fosse queimada, pode se admitir que mais de 40 mil toneladas de cinza da casca de arroz foram geradas no ano, fica assim evidente que seu aproveitamento adequado resultará em beneficio ao processo de conservação ambiental.

As areias e os solos arenosos apresentam baixa atividade pozolânica frente a cal, por isso são pobres em argilo-minerais e particularmente em sílica, portanto, não reagem adequadamente a estabilização com cal. Classicamente são estabilizados com cimento Portland, muitas vezes com alto consumo de estabilizante, implicando em altos custos construtivos. Uma alternativa, para substituir o cimento Portland pela cal e reduzir custos, é adicionar este tipo de solo a

sílica necessária para produzir reações pozolânicas com a cal. Como a cinza da casca de arroz são ricas em sílica, a estabilização de areias e solos arenosos com a cinza da casca de arroz e cal resultam em uma alternativa técnica e economicamente conveniente (Behak 2007).

O objetivo deste trabalho foi determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e a melhor dosagem de um solo arenoso aditivado com Cinza de casca de arroz e de um solo arenoso aditivado com cinza de casca de arroz e cal e a comparação dos mesmos qual será o mais efetivo para pavimentação.

## 2. REVISÃO LITERÁRIA

Em função dos altos custos dos materiais utilizados na pavimentação, como também os grandes impactos ambientais, e da falta de recursos na grande maioria dos órgãos públicos contratantes, é cada vez mais necessário, buscar alternativas no melhoramento dos solos, para redução dos custos finais da pavimentação (Corrêa, 2015).

Na região sul catarinense, os resíduos que se destacam são as cinzas produzidas pela mineração do carvão mineral, as quais segundo alguns autores demonstraram serem viáveis a sua utilização para uso rodoviário, pois apresentaram características mecânicas adequadas, a também a cinza da casca de arroz (CCA) produzida durante o processo de beneficiamento do arroz (Bofante,2015).

Conforme Viel (2012), a casca do arroz é um material fibroso e com alto teor de sílica, de difícil degradação, sendo problemático o seu depósito final, devido ao grande volume. Permanecendo inalteradas, suas características físicas e químicas por longo tempo, causando grandes danos ao meio ambiente. Busca-se reduzir os volumes da casca do arroz, através da técnica de incineração da mesma, produzindo um novo subproduto residual a CCA.

De acordo com os dados do Ministério da Agricultura, o Brasil está em nono lugar entre os países consumidores de arroz, e entre os maiores produtores nacionais estão os estados de Mato Grasso, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nas Indústrias, durante o processo de beneficiamento do arroz, é gerado um dos mais abundantes resíduos que é a casca de arroz, e por ser um material fibroso é de difícil degradação, permanecendo inalteradas por longo tempo (Viel, 2012).

Esta biomassa vem sendo utilizada como fonte de energia pelo processo de sua queima já que as empresas de beneficiamento de arroz utilizam a casca, substituindo a lenha, como combustível para secagem e parbolização do cereal, devido ao elevado poder calorífico da casca de arroz. Após a queima gera-se um grande volume de cinzas e o destino final é o aterro, criando um problema ambiental e poluindo o solo, o ar, os rios, córregos e lagos (Lacerda, 2011).

De acordo com Medeiros (2010) a casca de arroz é um produto energético, pois 1000kg de arroz produzem cerca de 200kg de casca, cuja a combustão gera 40kg de cinza. Na safra de 2014 a produção brasileira de arroz chegou a 12 milhões de toneladas no ano (IBGE 2014), as cascas representam 20% desse valor, o que significa dizer que a produção do rejeito chegou a 480 mil toneladas. No caso do sul do Estado de Santa Catarina, a produção no ano 2014 foi de mais de 1 milhão de toneladas de arroz. Baseando-se na hipótese que toda a casca gerada fosse queimada, pode se admitir que mais de 40 mil toneladas de cinza de casca de arroz foram geradas no ano, fica assim evidente que seu aproveitamento adequado resultará em benefício ao processo de conservação ambiental. Bonfante (2015). A adição de CCA aos solos apresenta vantagens como permitir melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos solos, habilitando seu emprego como materiais em pavimentos (Behak 2007). Segundo Behak (2007, apud Rahman, 1986), a adição unicamente de CCA produz melhorias na resistência do solo devido a efeitos de correção granulométrica do que propriamente a reações pozolânicas as quais não podem ocorrer devido à falta da presença da cal.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1.1 SOLO ARENOSO

Bonfante (2015) utilizou um solo arenoso coletado numa jazida no município de Siderópolis, na região sul de Santa Catarina. O solo arenoso é extraído dos morros e peneirados em uma máquina para retirada de impurezas, após a coleta, as amostras foram armazenadas e transportadas em sacos plásticos, com os cuidados necessários para evitar possíveis contaminações, em laboratório o solo foi seco em estufa.

Jaines (2016) utilizou um solo arenoso coletado de um talude de corte da rodovia RSC-446, no município de Treviso, região sul do estado de Santa Catarina. As amostras foram colocadas em sacos plásticos afim de evitar contaminações, no laboratório iniciou-se o processo de secagem, destorroamento e peneiramento.

#### 3.1.2 CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA)

A cinza da casca de arroz utilizada por Bonfante (2015) foi fornecida pela empresa Cereais Célia, que é uma das quatro empresas e beneficiamento de arroz, localizada na cidade de Meleiro ao sul do estado de Santa Catarina. A cinza

foi coletada diretamente de um dos fornos sem temperatura controlada, que fazem a queima da casca de arroz, para a pesquisa foi utilizada a CCA no estado em que ela foi coletada (in natura)

Já a CCA utilizada por Jaines (2016) foi fornecida pela empresa Festicasca de Substrato, localizada no bairro Morro Cato, no município de Turvo, região sul do estado de Santa Catarina, foi utilizado apenas um tipo de casca de arroz que recebeu um processo de moagem antes da incineração. Depois de moída, foi submetida ao processo de queima tornando-a cinza, pelo período de aproximadamente 10 horas, sem temperatura controlada.

### 3.1.3 CAL

Bonfante (2015) utilizou uma cal comercial, conhecida popularmente como "cal virgem", da marca Cerro Branco, produzida pela empresa Maxical Ltda, localizada na cidade de Almirante Tamandaré no estado do Paraná.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Análise Granulométrica

Bonfante (2015) realizou a análise granulométrica do solo arenoso, da cinza da casca de arroz e da cal, de acordo com a norma NBR 7181/84. Já Jaines (2016) realizou os seguintes ensaios físicos: Limite de Liquidez (LL – NBR 6459:1984), Limite de Plasticidade (LP – NBR 7180:1984), análise granulométrica (NBR 7181:1987).

### 3.2.2 Massa específica real

Para Bonfante (2015) foi analisado a massa específica real dos grãos do solo arenoso foi determinada através do ensaio denominado frasco de Chapman (Figura a), segundo o procedimento descrito pela norma DNER-ME 194/98. A massa específica real da cinza da casca de arroz foi utilizado o picnômetro, seguindo a norma DNER-ME093/64 (Figura b). Para massa específica real da cal, no ensaio, foi utilizado o frasco Le Chatelier, segundo o procedimento descrito na norma DNER-ME 085/94.

Jaines (2016) realizou a análise química do solo e da CCA, foram encaminhadas amostras de 80 g e 500 g, respectivamente, para o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). A análise foi feita através da espectrometria de fluorescência de raios x (FRX) e espectrometria de absorção atômica, no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização dos Materiais (LDCM), com um espectrômetro de raios X por dispersão de comprimento de onda (WDXRF). Os ensaios determinaram os teores dos compostos químicos presentes nas amostras estudadas. O objetivo desde ensaio foi quantificar o percentual de sílica da CCA e quais compostos existentes no solo coletado. Para constatação uma eventual melhora nas características mecânicas da mistura através da reação entre a CCA e o solo. A difração de raios X (DRX) ocorreu visando determinar as espécies cristalinas da CCA estudada. A análise foi realizada com a amostra da CCA passada na peneira nº 200 (#0,075 mm), cerca de 100 g.

### 3.2.3 Dosagem e Mistura

Bonfante (2015) utilizou duas combinações de teores de CCA residual do processo de parbolização do arroz e cal foram adotadas. Para efeito de comparação procurou-se manter constante o teor da CCA, e modificar o teor do agente estabilizante. Assim as combinações adotadas foram: Uma mistura de 80% de solo arenoso, 15% de CCA e 5% de cal, denominada de 15%CCA+5%Cal; e uma mistura de 75% de solo arenoso, 15% de CCA e 10% de cal denominada de 15%CCA+10%Cal.

O solo arenoso e a CCA foram secos na estufa em laboratório. A cal ficou no próprio saco plástico da embalagem de compra, e foi utilizada como é comercializada. O solo, a CCA, a cal e a água, foram pesados com precisão de 0,01 g. Os teores de CCA e de cal se calcularam em relação ao peso de solo seco. Os teores de água foram calculados em função do peso seco da mistura.

Inicialmente misturaram-se o solo, a CCA e a cal, no estado seco, realizando-se uma homogeneização manual da mistura conforme Figura a. Logo após se acrescentou água garantindo a total homogeneidade da mistura e evitando perdas por evaporação. As misturas produzidas foram utilizadas nos ensaios de compactação e de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Jaines (2016) utilizou a combinação de teores de CCA e solo adotadas. Assim a combinação adotada ficou: Uma mistura de 85% de solo arenoso, 15% de CCA O solo e a CCA foram secos na estufa do LMS. A precisão da balança que pesou os materiais foi de 0,01g. Os teores da CCA foram definidos em relação ao peso do solo seco. A homogeinização dos materiais ocorreu de forma manual com o material no estado seco, embalados em sacos plásticos, para serem utilizadas nos ensaios de compactação e de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

### 3.2.4 Ensaios de compactação

Conforme Bonfante (2015) para determinar os parâmetros ótimos de compactação, se realizaram ensaios de compactação para o solo arenoso sem adição de CCA e cal, para a mistura 15%CCA+5%Cal, e para a mistura 15%CCA+10%Cal. Para o solo arenoso e as misturas de solo+CCA+cal, foram executados ensaios de compactação nas energias Proctor Normal e Proctor Modificado. Para a energia de compactação Proctor Normal, foram executadas três camadas de material no cilindro com capacidade de 1000 cm³, com 12 golpes por camada com o soquete de 2500g de massa, já para a energia de compactação Proctor Modificada foram cinco camadas de material no cilindro com capacidade de 1000 cm³, com 27 golpes com o soquete de 4536g de massa, os ensaios foram realizados conforme a norma a NBR7182/86.

Os resultados de umidade ótima e massa específica seca máxima foram, posteriormente, utilizados para a moldagem dos corpos de prova para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Jaines (2016) inicialmente realizou o ensaio de compactação do solo no seu estado natural, nas energias de compactação Proctor Normal (PN) e intermediário (PI), de acordo a NBR 7182:1986, para a obtenção do teor ótimo de umidade.

### 3.2.5 Ensaios de Índice de Suporte Califórnia

Bonfante (2015) realizou os ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) do solo arenoso se realizaram em corpos-de-prova compactados na energia Proctor Normal e Proctor Modificada, os corpos de provas foram moldados com os valores de teores de umidade encontrados nos ensaios de compactação (ωót).

Após moldagem e compactação dos corpos de provas do solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal, os mesmos foram imersos em água por um tempo de cura de 3 dias, depois desse período, foram feitas as leituras de expansão e se realizou os ensaios de ISC conforme estabelece a NBR 9895:1987.

Para as misturas solo+CCA+cal foram moldados corpos de prova para um tempo de cura de 14 e 28 dias, pois as reações pozolânicas e a carbonatação são dependentes do tempo, ou seja, iniciam-se algumas semanas após da adição da cal, em presença de água, e se desenvolvem durante um largo período de tempo, e até vários anos, em alguns casos. Estas reações ocorrem na chamada fase lenta da estabilização alcalina. As reações pozolânicas causam a formação de produtos cimentantes, responsáveis pelo aumento da resistência e da durabilidade das misturas solo-cal, constituindo a estabilização propriamente dita (Behak, 2007).

Assim, foram moldados e compactados os corpos de provas, e colocados em imersão por 3 dias, depois de feito as leituras de expansão conforme pede a norma, armazenaram-se os moldes das misturas solo+CCA+cal em sacos plásticos amarados (Figura a), e foram mantidos em um cesto com água, e envolvendo com fita para manter a umidade como uma câmara úmida (Figura b) evitando a perda de umidade e a carbonatação da cal.

Os moldes de corpos de provas foram tirados do cesto, e dos plásticos, e colocados em imersão por 3 dias novamente como de pede a norma, pois poderia haver uma possível mudança na expansão, como pede a norma.

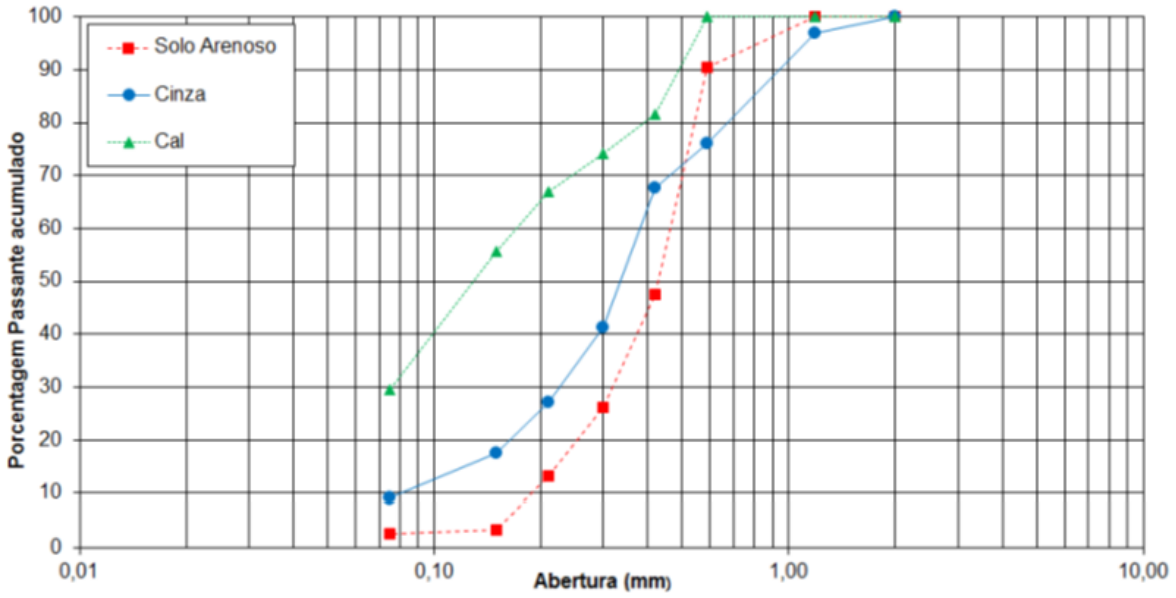
Para determinação do ISC, Jaines (2016), moldou corpos de prova nas energias PN e PI, nas respectivas umidades ótimas, obtidas no ensaio de compactação. Com tal característica moldaram-se corpos de prova, nas misturas com CCA pré-definidas, para verificação do comportamento do solo aditivado.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Granulometria

A distribuição granulométrica da amostra do solo da cal e da cinza da casca de arroz realizada por Bonfante (2015) está apresentada na Figura 1.

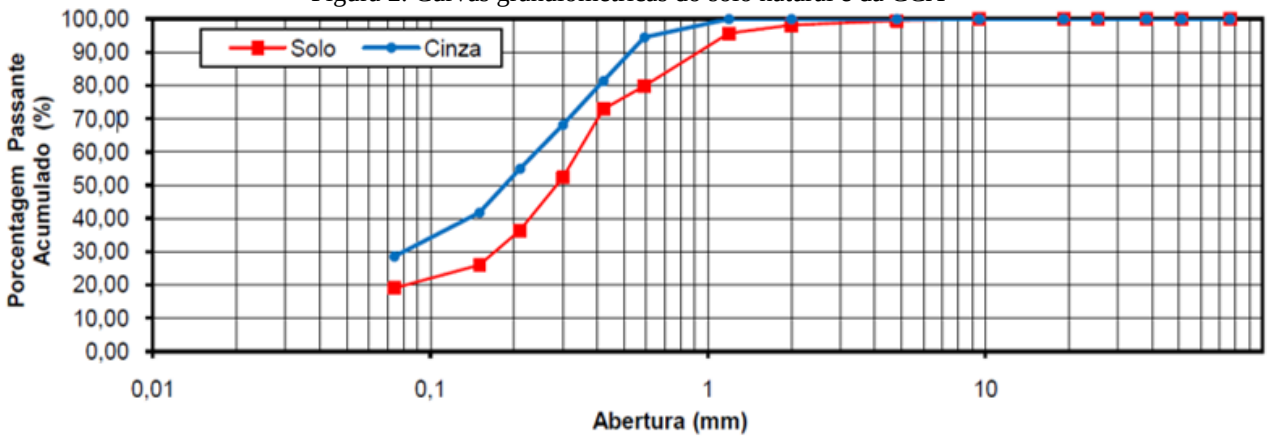
Figura 1. Distribuição Granulométrica.




A CCA utilizada apresenta uma granulometria fina, juntamente aliada a granulometria fina da cal, pode favorecer positivamente para a formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

Jaines (2016) representou na figura 2, a distribuição granulométrica do solo natural e da CCA.

Figura 2. Curvas granulométricas do solo natural e da CCA

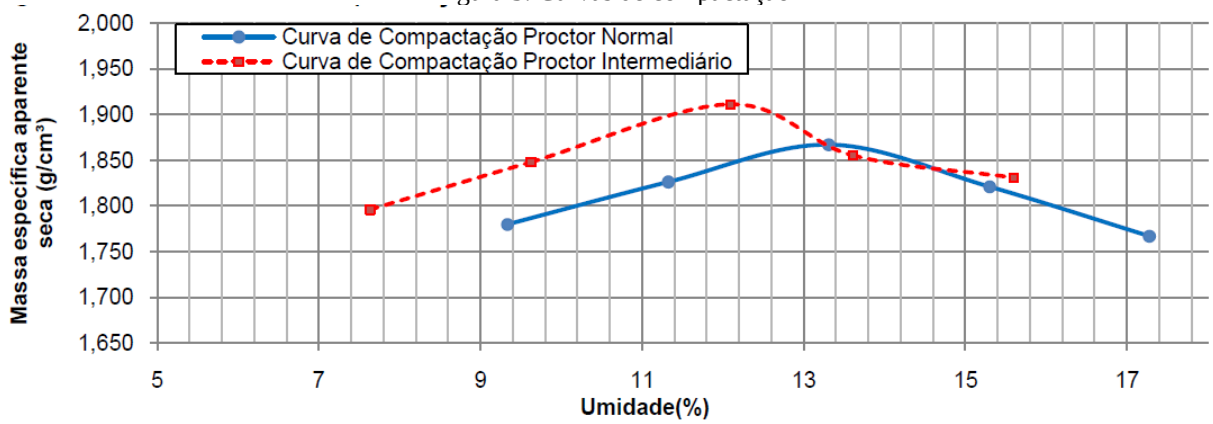



A CCA e o solo coletado apresentaram uma curva granulométrica fina. Nota-se na figura 2 que a CCA é um material ainda mais fino se comparado ao solo. E, de acordo a classificação HRB o solo foi definido como A 2-4.

### 4.2 Ensaios de compactação

Na figura 3, Jaines (2016) consta as curvas de compactação do solo natural nas energias PN e PI.

Figura 3. Curvas de compactação




Os resultados encontrados de massa específica aparente seca máxima e os teores de umidade ótima (ωót) foram respectivamente 1,867 g/cm³ e 13,3 %, no PN, e 1,911 g/cm³ e 12,0 %, no PI.

Bonfante (2015) através das Figuras 4 e 5 mostra as curvas de compactação do solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal, na energia Proctor Normal e Proctor Modificada.

Figura 4. Curva de compactação na energia Proctor Normal.

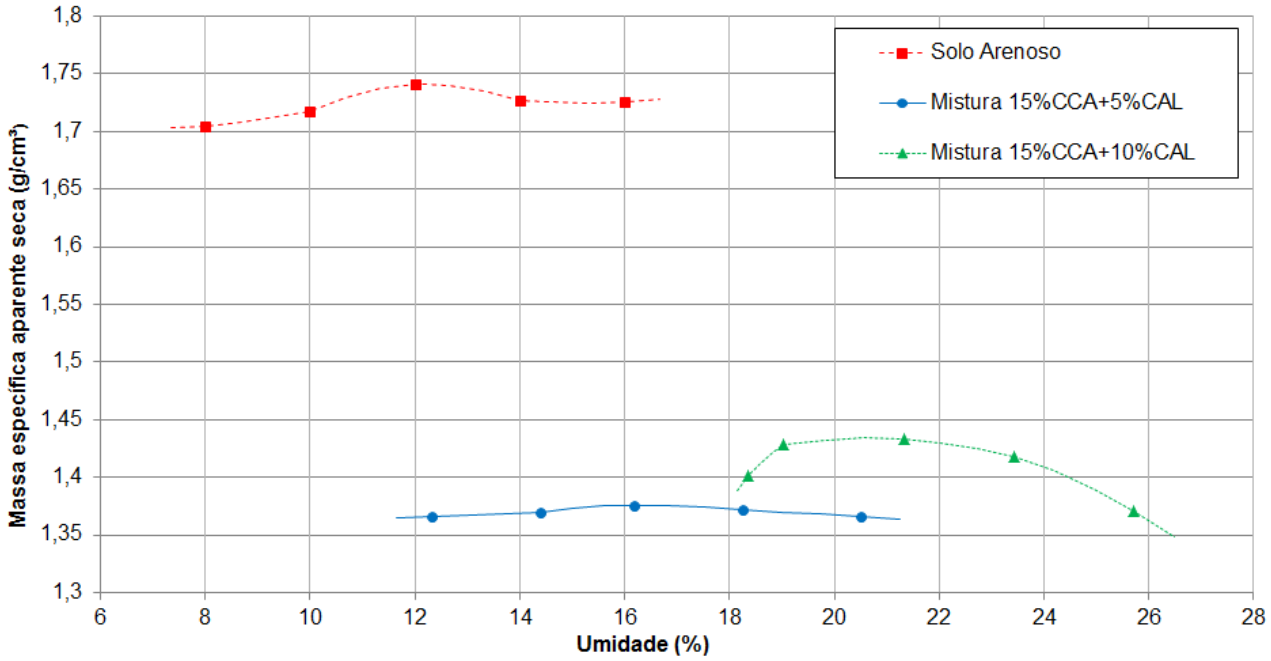
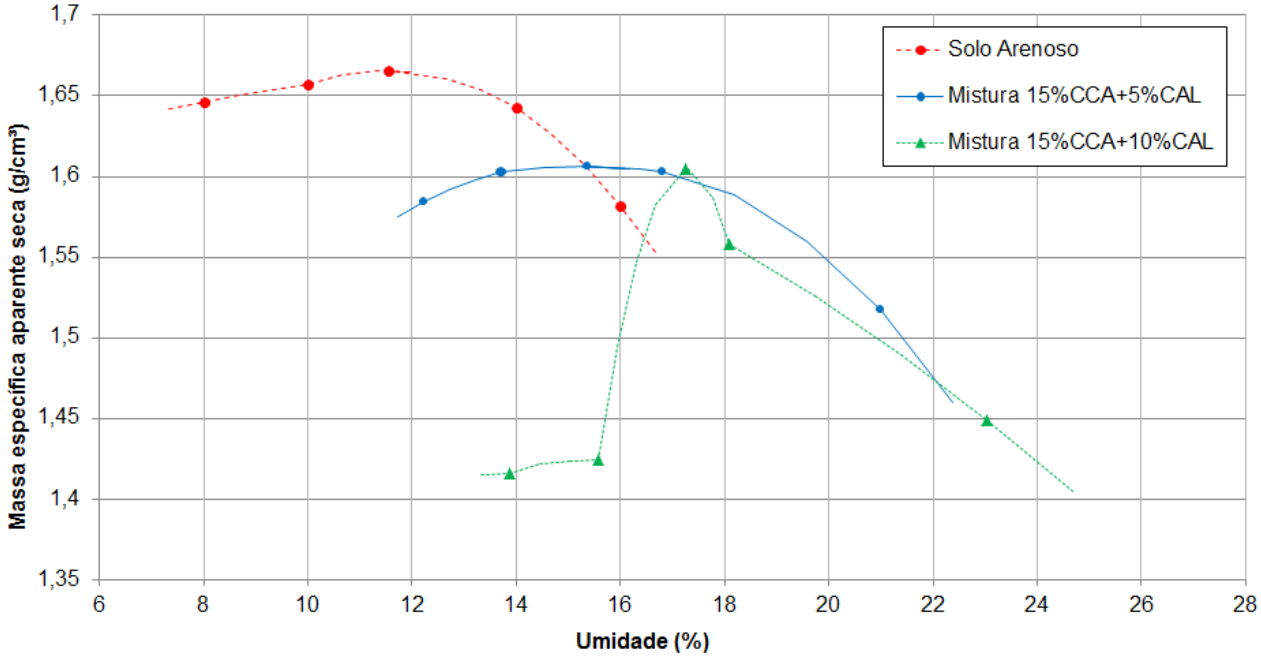


Figura 5. Curva de compactação na energia Proctor Modificada.




As massas específicas aparente seca máximas (MEASM) e os teores de umidade ótima (ωót), encontrados para a mistura solo-CCA-cal e o solo arenoso compactado nas energias Normal e Modificada são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros ótimos de compactação.

| **Material** | **Energia de Compactação** | **Massa especifica aparente seca (g/cm²)** | **Umidade ótima (%)** |
|---|---|---|---|
| Solo arenoso | Normal | 1,7413 | 12,24 |
| Solo arenoso | Modificado | 1,6658 | 11,53 |
| Mistura 15%+5% | Normal | 1,3761 | 16,50 |
| Mistura 15%+5% | Modificado | 1,6061 | 15,26 |
| Mistura 15%+10% | Normal | 1,4340 | 20,61 |
| Mistura 15%+10% | Modificado | 1,6045 | 17,25 |

### 4.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

O Índice de Suporte Califórnia (ISC) é um ensaio relativamente simples e aplicado como parâmetro da resistência de suporte de solos e materiais granulares ou de solos para subleito, sub-base e base na pavimentação de rodovias. Muito utilizado como parâmetro de resistência de solos com aplicação em estradas. Assim, como o interesse desta pesquisa é a aplicação dos resultados em estradas, o ensaio de ISC foi realizado. BONFANTE (2015)

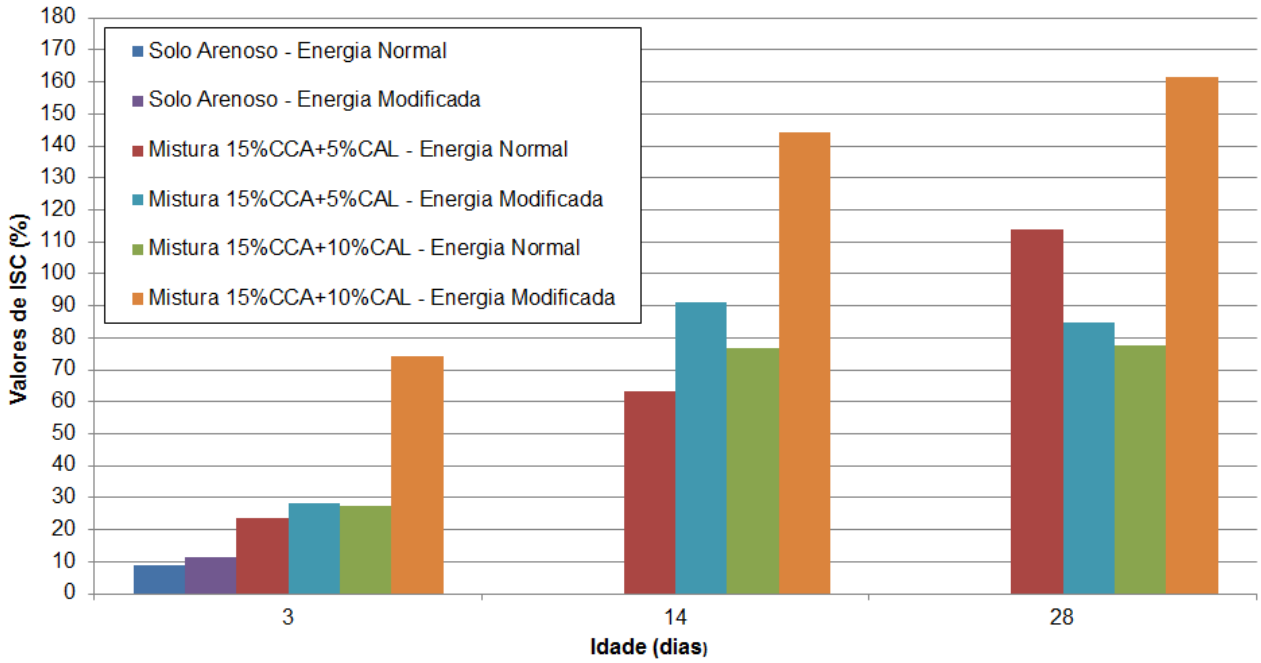
Na Tabela 2 são mostrados os valores de ISC obtidos por Bonfante (2015) para o solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal nas energias de compactação Proctor Normal e Proctor Modificado.

Tabela 2. Valores de ISC.

| **Material** | **Energia de Compactação** | **Valores de ISC (%)** |
|---|---|---|
| Solo Arenoso | Normal | 8,9 |
| Solo Arenoso | Modificado | 11,6 |
| Mistura 15%+5% | Normal | 23,6 |
| Mistura 15%+5% | Modificado | 28,1 |
| Mistura 15%+10% | Normal | 27,5 |
| Mistura 15%+10% | Modificado | 74,1 |

Na Figura 6 mostram graficamente o aumento dos valores do ISC do solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal compactados nas energias Proctor Normal e Proctor Modificada para um tempo de cura de 3, 14 e 28 dias.

Figura 6. Proctor Normal e Proctor Modificada




Na tabela 3 são apresentados por Jaines (2016) os valores de ISC obtidas nos corpos de prova compactadas nas energias PN e PI.

Tabela 3. Valores de ISC

| Mistura | Energia de Compactação | Valores de ISC (%) |
|---|---|---|
| SOLO100 | Normal | 10,30 |
| SOLO100 | Intermediário | 7,90 |
| CCA15 | Normal | 8,60 |
| CCA15 | Intermediário | 27,50 |

Para Bonfante(2015) os resultados mostram que com 15% de CCA e 5% de cal é 2,6 e 2,4 vezes maior que os ISC obtidos para o solo arenso para tempo de cura de 3 dias, compactado nas energias Normal e Modificada respectivamente. Na média o incremento do ISC, devido à estabilização do solo, para um tempo de cura de 14 dias, é de 7,5 vezes, embora se obteve uma queda significativa no valor de ISC, para um tempo de cura de 28 dias na energia de compactação Proctor Modificada em relação e a energia Proctor Normal. A perda de umidade no local de cura é uma possível causa para esse fator, contudo, o valor de ISC para uma energia de compactação Proctor Normal já é 12,8 vezes maior que a do solo arenoso compactado na mesma energia.

Para a mistura 15% de CCA e 10% de cal, percebemos que para o incremento de 5% de cal em relação à mistura anterior, não se obteve um ganho na atividade pozolânica na energia de compactação Proctor Normal, assim os valores obtidos são praticamente iguais aos da mistura 15%+CCA+5%Cal, Porém verificasse que para a energia de compactação Proctor Modificada para um tempo de cura de 3 dias, a mistura apresenta uma ISC 6,3 vezes maior que o solo arenoso, valores próximos aos encontrados para 14 dias de cura nas duas energias na mistura 15% CCA e 5% cal. Para um tempo de cura de 28 dias se obteve um ISC quase 14 vezes maior que o solo natural na energia Proctor Modificada.

A partir dos dados obtidos Jaines (2016), pode-se afirmar que todas as misturas dosadas, na análise proposta conforme a NBR 9895:1987, pode ser utilizada como sub-base (ISC≥20%) quando compactada na energia de PI, em camadas de base (ISC≥80%), na energia de PI. A causa do incremento do valor da capacidade de suporte do solo estudado ocorreu devido ao efeito filler, a mesma resposta obtida por Behak (2007, apud Rahman, 1986). A cinza da casca do arroz preencheu os vazios presentes no solo, com tal característica provocou uma correção granulométrica, desta maneira elevou o ISC do solo.

## 5. CONCLUSÃO

Através dos resultados dos referentes trabalhos podemos resumir as seguintes conclusões:

a) A adição de CCA e de cal causa uma diminuição na massa especifica aparente seca e um aumento do teor ótimo de umidade, em comparação com o solo arenoso para as duas energias de compactação, devido às características porosas da cinza de casca de arroz e pelo consumo de água pela cal na hidratação. (Bonfante, 2015)
b) Conclui-se que o incremento do ISC do solo arenoso estudado é significativo. A causa do incremento se deve as reações pozolânicas entre a sílica amorfa da CCA e a cal que produzem melhoria na capacidade suporte do solo estabilizado. (Bonfante, 2015)
c) A mistura 15%CCA+5%Cal na energia de compactação Proctor Normal, para um tempo de cura de 28 dias, já tem um valor muito maior do que exigido em norma para base (ISC≥80%) e sub-base (ISC≥20%), e esta mistura poderia ser mais econômica, pois precisaria de menos cal para atingir o valor de ISC especificado por norma, em relação à mistura 15%CCA+10%Cal. (Bonfante, 2015)
d) A partir da mistura dos dois materiais ocorreu o fenômeno físico de efeito filler, o qual provocou o aumento da capacidade de suporte do solo natural. (Jaines, 2016)
e) A amostra CCA15 atendeu aos limites exigidos pelo DNIT para sub-base no PI como já citado anteriormente. Mas também analisando a dosagem em forma que consumo da CCA, esta dosagem foi a que mais utilizou, sendo assim tornou-se a melhor no ponto de vista ambiental. (Jaines, 2016)
f) Desta forma destinando de forma correta os resíduos agrícolas e diminuindo a exploração de jazidas de rochas e solos. (Jaines, 2016)
g) Desta forma se demostra que pode ser utilizado a mistura de 15% de CCA e dispensando o uso da cal uma vez que a mistura superou a demanda da norma para base e sub-base, sendo assim mais viável economicamente.

## 6. REFERÊNCIAS

Ali, F.H., Adnan, A. e Choy, C. K., 1992. *Geotechnical Properties of a Chemically Stabilized Soil from Malaysia with Rice Husk Ash as an Additive.* Geotechnical and Geological Engineering, v. 10, n. 2, pp. 117 – 134, Amsterdam.

Behak, L., 2007. *Estabilização de um solo sedimentar arenoso do Uruguai com cinza de casca de arroz e Cal*. Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Rio Grande do Sul).

Bofante, M., 2015. *Estabilização de um solo arenoso com cinza de casca de arroz e cal para a utilização de camadas de pavimento.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

Junior, C.L.P., 2013. *Análise do comportamento mecânico em pavimentos intertravados de blocos pré-moldados de concreto com baixo volume de tráfego.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul.

Lacerda, D.M.de., 2011. *Análise mecânica pelo método marshall em misturas asfálticas com agregados reciclados*. Dissertação de mestrado (Universidade Federal da Paraíba).

Manual de Pavimentação., 2006. *DNIT. IPR -719 3*. Ed.. Rio de Janeiro, 274p.

Medeiros, E.N.M., 2010. *Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA.* Dissertação - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia (Universidade de Brasília).

Saraiva, S.L.C., 2006. *Metodologia e Analise Experimental do comportamento Geotécnico da Estrutura de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal de Ouro Preto).

Senço, W.de., 2001. *Manual de Técnicas de Pavimentação*. 1ª ed. São Paulo: Pini.

Silva, R.G.O.da., 2010. *Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de minério de Ferro*. Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Ouro).

Viel, W.B., 2012. *Uso de cinza de casca de arroz e de eucalipto na composição de um vidrado Cr.* 18f. Trabalho de Conclusão de Estágio (Curso de Tecnologia em Cerâmica e Vidro) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

Zhang, M.H.; Lastra, R. e Malhotra, V.M. *Rice Husk Ash as Paste and Concrete: Some Aspects of Hydration and the Microstructure of the Interfacial Zone between the Aggregate and Paste*. Cement and Concrete Research, v. 26 (6), pp. 963-977, 1996.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DE GUIA AUTO TELESCÓPICAS PARA FÔRMAS DESLIZANTES

**Lucas Cardoso da Silva**
**Gustavo Prates Mezzomo**
**Márcio Walber**
BR 285, São José, Passo Fundo/RS / CEP: 99052-900
151990@upf.br, gustavomezzomo@upf.br, mwalber@upf.br

***Resumo:*** *Fôrmas deslizantes para concreto são equipamentos muito utilizados em grandes construções. E consistem em painéis usados para concretar estruturas de seção constante ou variação de seção constante, de forma ininterrupta, os quais necessitam de guias para manter o curso, definir a geometria, alinhamento e prumo dos painéis dessas fôrmas. Este trabalho tem como objetivo otimizar o processo já existente por meio de um projeto de uma guia telescópica para fôrmas deslizantes, que seja capaz de elevar o conjunto de painéis (fôrma), com seus respectivos acessórios. Essas novas guias telescópicas têm como principal objetivo reduzir consideravelmente o volume dos equipamentos para favorecer o transporte, para que diferentemente das guias atuais, a exportação seja economicamente viável. Além do volume, o projeto tem como meta eliminar a utilização de macacos hidráulicos e de outras peças, por meio da utilização de um sistema na própria guia para a elevação do conjunto de fôrmas.*

***Palavras chave:*** *Estruturas metálicas; Colunas telescópicas; Fôrmas deslizantes; Construção civil.*

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem se mostrado muito dinâmica com o passar dos anos, e vem demandando cada vez mais inovações para atender diversos critérios, tais como: menor custo, maior capacidade produtiva, menor requisição de mão de obra e uma preocupação cada vez maior com questões ambientais.

Um grande desafio da indústria atualmente é uma crescente escassez de mão de obra. Com a mão de obra sendo uma parcela crescente a cada dia no custo das obras, reduzir o número de operadores necessários é sempre muito bem visto pelo efeito cascata que isso gera, reduzindo o preço final, gerando assim grande competitividade com o mercado.

O trabalho em questão visa projetar uma alteração no sistema atualmente utilizado de fôrmas deslizantes (o sistema atual de fôrmas é descrito no item 2) para tentar atender algumas das demandas da construção civil. Fôrmas deslizantes são a maneira mais rápida de se fazer grandes concretagens, segundo Medeiros (2015).

O novo sistema proposto tem como um de seus principais objetivos reduzir significativamente seu volume inicial (volume do sistema para transporte) para tornar viável a exportação do produto, considerando que o atual sistema tem um volume muito alto, inviabilizando-a. Outro problema que demanda certa atenção, é a questão ambiental, visto que possíveis defeitos com sistemas hidráulicos podem gerar grandes problemas, é desejável que o atual sistema de elevação dos painéis (os painéis são a parte do sistema responsável por dar forma ao concreto) seja substituído por um novo sistema que independa de componentes hidráulicos.

A ideia inicial consiste em um sistema metálico telescópico capaz de elevar todo o conjunto da fôrma até sua altura máxima e trabalhar no sentido inverso trazendo todo o conjunto de volta para o chão, de maneira semiautomática, fazendo assim a função atual do sistema e adicionando a função de descer a fôrma, resolvendo assim a grande dificuldade técnica e principalmente operacional de elevar trabalhadores para fazer a desmontagem da fôrma em sua altura total (como acontece atualmente).

### 1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é modificar o sistema atual de fôrmas deslizantes por meio do projeto de uma guia telescópica para esse sistema. Para auxiliar o atendimento do objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Definir o funcionamento do sistema desenvolvido;
- Definir sistemas adicionais necessários para cumprir os requisitos do projeto;
- Desenvolver um protótipo do novo sistema.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fôrmas para concreto

Fôrmas são “estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante” (NBR15696:2009).

### 2.2 Escoramentos

Escoramentos em fôrmas são definidos pela (NBR15696:2009) como estruturas não permanentes que possam exercer a função de transmitir as forças aplicadas pelo concreto para o solo, tanto as forças do concreto fresco sendo despejado na fôrma quanto o concreto fluido (que quando já alocado na fôrma é tratado como um fluido para a definição de forças).

### 2.3 Fôrmas deslizantes

Nakamura (2011) e Dinesco (1973) explicam que fôrmas deslizantes é um sistema alternativo a outros modelos de sistemas de concretagem, que possui fôrmas mais baixas (cerca de 1,2 m de altura), sendo muito utilizado em grandes obras, com concretagens bastante altas.

As fôrmas deslizantes são responsáveis por cerca de 30% do cronograma total de uma obra, pois segundo Medeiros (2015) elas correspondem por 60% do tempo de construção da estrutura, que por sua vez é responsável por cerca de 50% do tempo total da obra, colocando assim as fôrmas com um papel muito importante no quesito cronograma.

Fôrmas deslizantes são sistemas razoavelmente complexos, e cabe descrever brevemente os seus principais elementos. As fôrmas atuais utilizam um sistema de içamento por macacos hidráulicos fixados acima dos painéis de concretagem e barrões de aço passantes pelo painel, assim movimentando o sistema para cima, este sistema levanta a fôrma quando o concreto já está autoportante, conforme a Figura 1a.

Os principais elementos de uma fôrma deslizante são: o painel de concretagem, o qual mantém o concreto em sua posição, servindo de fôrma para ele, o andaime acoplado ao painel de concretagem, chamado de andaime de trabalho, onde os trabalhadores fazem os acabamentos e uma coluna metálica que serve de guia para o painel e o andaime. A coluna em questão, é comumente chamada de guia, é o principal objeto de estudo deste trabalho. Os elementos citados acima podem ser vistos na Figura 1b.

Outra diferença relevante é que o processo por fôrmas deslizantes acelera consideravelmente a construção, pois diferentemente dos demais processos, por não precisar esperar a cura completa do concreto, adotando uma velocidade de concretagem de 0,2 m/hora aproximadamente, gerando um processo muito mais veloz apesar de gastar um pouco mais de concreto. Nas Figuras 1c, 1d são apresentados desenhos de uma fôrma com parte da concretagem já feita.

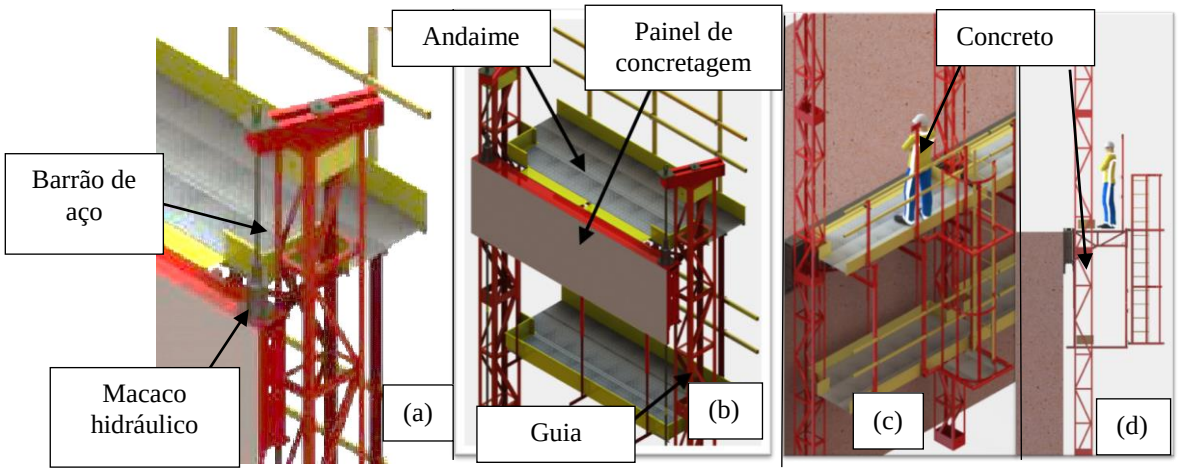



Figura 1. Principais elementos de um módulo de fôrmas deslizantes (a). Sistema de elevação do módulo (b). Vista isométrica do conjunto (c). Vista lateral do conjunto (d)

### 2.4 Funcionamento do sistema de fôrmas deslizantes

Partindo da apresentação e caracterização do sistema de fôrmas deslizantes feito acima, este tópico se dedica a esclarecer como o sistema exerce sua função. Silva (2013) explica que em obras com paredes de concreto de grandes

alturas (em que a utililização de fôrmas deslizantes se torna mais viável), todas as ferragens que vão ficar dentro do concreto já estão colocadas.

A sequência convencional de montagem, tem como primeiro passo montar as guias, (principal objeto de estudo deste trabalho) apresentado na Figura 2b. Junto com as guias, uma parcela do sistema de içamento também é montado, então a guia é ancorada nas armações de aço já montadas com o objetivo de diminuir seu comprimento de flambagem, entre as guias existem contraventamentos feitos por tubos e braçadeiras. A partir do ponto em que as guias estão montadas e devidamente estabilizadas, parte-se para uma segunda parte da montagem.

A segunda parte da montagem consiste em anexar à guia os painéis e todos os andaimes de trabalho, junto com o macaco hidráulico que completa o sistema de elevação. Esse conjunto, assim como a guia é montado por todo o perímetro da concretagem, fazendo assim uma fôrma para o concreto.

Com toda a estrutura montada o lançamento do concreto é iniciado. Assim que o concreto se torne autoportante, ou seja, aguente seu peso próprio, os painéis juntamente com todo o andaime de trabalho vão subindo continuamente, a cerca de 0,2 m/h enquanto mais concreto continua a ser lançado. Durante a ascensão da estrutura, operadores fazem trabalhos de acabamento em um andaime que fica abaixo do nível atual da concretagem, Dinesco (1973). Esse método pode levantar paredes a cerca de 6m/dia, e segundo Silva (2013), nenhum outro método construtivo atual possui tal velocidade.

Outro ponto interessante a ser destacado é que quando a altura da guia não é o suficiente para concretar toda a estrutura uma variante do processo é utilizada. Primeiramente são deixados na parede de concreto cones de apoio, que após ficarem imersos no concreto servirão de suporte, (os cones na parede de concreto podem ser vistos na Figura 2a). Futuramente eles irão suportar estruturas chamadas de “mísulas”, essas estruturas servirão pra suportar o peso da guia sobre elas, (uma mísula pode ser vista na Figura 2b).

Após a instalação das mísulas, o painel de concretagem é travado em sua posição por dispositivos auxiliares e a guia é levantada e alocada acima da mísula mostrada acima, como fica claro na Figura 2c.

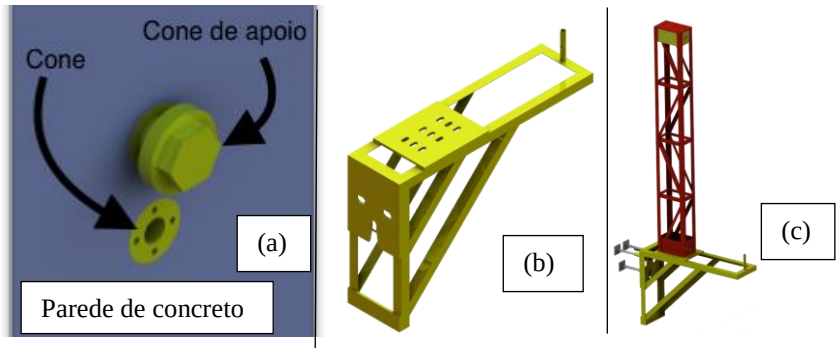



Figura 2. Cones de suporte (a). Mísula (b). Guia sobre a mísula (c).

## 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Definição do modelo desenvolvido

Esta seção é destinada a apresentar o conceito criado para atender os requisitos listados no esclarecimento da tarefa. O conceito proposto consiste em um sistema telescópico, com dois estágios. Uma coluna interna de perfil quadrado (dois perfis U opostos) e uma coluna externa com um perfil C enrijecido, as duas colunas movimentam-se entre si por meio de um sistema de elevação por fuso. A Figura 3 mostra uma vista lateral do equipamento, realizando uma operação de concretagem e possui setas indicando o elemento e em qual item deste trabalho a parte indicada está detalhada.

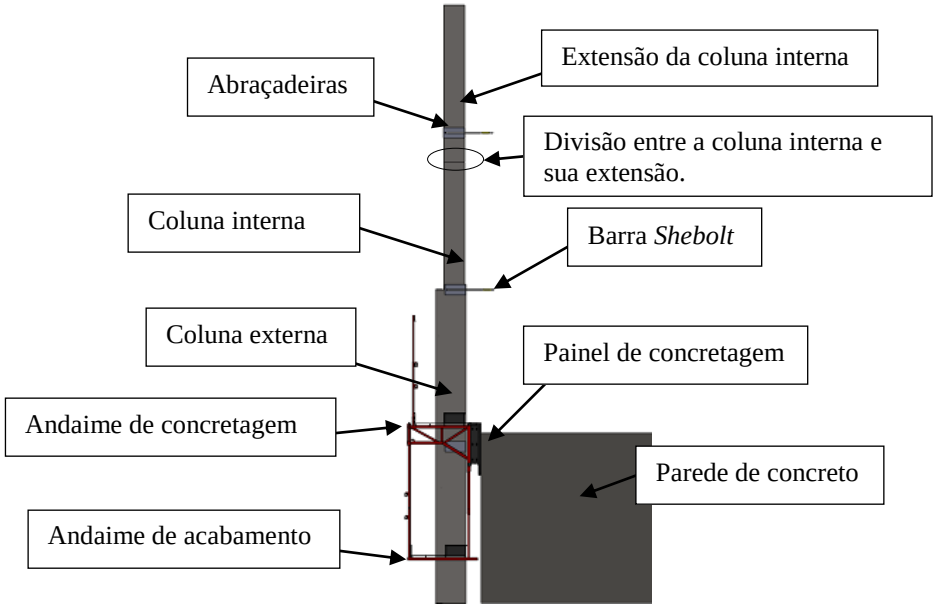



Figura 3. Detalhamento das principais partes do sistema

No sistema atual essas colunas possuem várias alturas, sendo elas 3, 6, 9 e 12 metros, para as colunas desse trabalho foi definido que a altura máxima será de 6 metros, por ter um alcance aproximado de 12 metros. Os principais componentes do sistema serão detalhados nos itens abaixo.

### 3.2 Coluna externa

Consiste em uma coluna de um perfil metálico tipo C enrijecido, que possui apenas função estrutural e de movimentação do sistema, o fuso será fixado nas partes inferior e superior dessa coluna, e na parte superior será ligado com um moto redutor.

### 3.3 Coluna interna

A coluna interna é composta de um tubo metálico quadrado e possui três principais funções, sendo elas, estrutural, de movimentação e de ligar as colunas ao painel de concretagem e andaimes. Sua função na movimentação do sistema se dá pela castanha, que está fixada nesta coluna, gerando uma interação entre a coluna interna e externa, onde o fuso está fixado.

### 3.4 Painel de concretagem

O painel de concretagem é a estrutura responsável por moldar o concreto e passar os esforços submetidos pelo concreto para escoramentos, neste caso as colunas apresentadas nos itens 3.2 e 3.3. São instalados painéis por todo o perímetro da área a ser concretada formando assim uma grande fôrma para concreto.

### 3.5 Andaime de concretagem

É o espaço destinado para os trabalhadores, ele está fixado ao painel e a coluna interna e está acima do nível de concretagem. Faz parte do conjunto de andaime telescópico patenteado pela Metalúrgica Cardoso.

### 3.6 Andaime de acabamento

É um segundo espaço destinado aos trabalhadores que fazem acabamentos no concreto abaixo do painel, sendo parte do conjunto de andaimes telescópicos citado no item 3.5, o andaime de acabamento começa a concretagem recolhido e só é aberto a partir de uma certa altura, como pode ser visto no item 3.11.

### 3.7 Barra *shebolt*

Consiste em uma barra roscada muito utilizada em concretagens com fôrmas deslizantes, antes mesmo de toda a concretagem ser realizada os vergalhões de aço já estão posicionados, e as barras shebolt são presas aos vergalhões para

deixarem preparados equipamentos que serão utilizados durante a concretagem, como mísulas e as abraçadeiras criadas para esse sistema. Quando a parede de concreto atinge as barras roscadas elas ficam fixadas no concreto podendo ser utilizadas como apoio. Essas barras são colocadas a cada 3 metros de altura.

### 3.8 Abraçadeiras

As abraçadeiras são equipamentos desenvolvidos para o funcionamento desse sistema de fôrmas deslizantes, consistem em abraçadeiras de aço que servem para guiar o sistema enquanto o concreto ainda não chegou ao ponto onde estão posicionadas, e por estarem fixadas nas barras shebolt apresentadas no item 3.7 servem de apoio para a estrutura após se encontrarem abaixo do nível de concretagem.

### 3.9 Extensão da coluna interna

Este equipamento é um perfil metálico que será fixado acima da coluna interna do sistema, ele serve para ajudar a guiar o sistema (para que ele não saia de seu curso). Enquanto o sistema sobe essa extensão é capaz de alcançar abraçadeiras (citadas no item 3.8) em pontos mais altos da estrutura, onde ainda não há concreto, utilizando-as para manter o alinhamento do equipamento em relação a parede de concreto.

### 3.10 Parede de concreto

É a estrutura que está sendo concretada, seguindo o processo de concretagem por partes descrito no item 2.4.

### 3.11 Funcionamento do sistema

Nesta seção serão apresentadas imagens explicativas sobre o funcionamento das guias auto telescópicas. Para realizar uma concretagem são utilizados painéis por todo o perímetro da concretagem, se constituindo assim de uma grande fôrma para concreto, mas por questões de simplificação apenas um conjunto de painéis e guia será utilizado para a explicação de como o sistema funciona, simulando uma vista em corte. O funcionamento do sistema se dá em seis etapas que serão descritas abaixo.

### 3.12 Etapas do funcionamento

O conjunto de colunas denominadas “guias” é colocado em sua posição inicial de trabalho e montado juntamente com o conjunto e painéis de concretagem e o andaime telescópico patenteado pela Metalúrgica Cardoso. Após isso, mas ainda antes do conjunto se mover, algumas peças complementares são adicionadas, uma ponta da guia interna, que servirá para o prumo do sistema, além disso, barras roscadas chamadas de shebolt serão presas nas ferragens já presentes no local de concretagem a cada 3 metros de altura.

Posteriormente a todas as partes da estrutura estarem devidamente posicionadas a concretagem é iniciada, então o concreto começa a ser despejado contra o painel, o funcionamento da concretagem consiste em despejar uma certa quantidade de concreto e espera-lo se tornar autoportante para que o conjunto possa ser elevado e mais concreto despejado, como mostrado na Figura 4a.

Depois de o conjunto subir certa quantidade o andaime telescópico patenteado pela Metalúrgica Cardoso pode se abrir. Ao atingir a altura dos travamentos presentes a cada 3 metros o travamento precisa ser retirado para o painel passar e após sua passagem ele é colocado novamente, gerando um apoio para a estrutura. A abertura do andaime e a retirada de um dos *shebolt* em uma altura de 3 metros de concreto é mostrado da Figura 4b.A concretagem continua até que o painel atinge o topo da coluna externa, onde o processo é impedido de continuar pois alcançou seu limite, para aumentar a altura máxima a ser alcançada um processo de reversão é necessário. O conjunto em seu primeiro alcance máximo pode ser visto na Figura 4c.

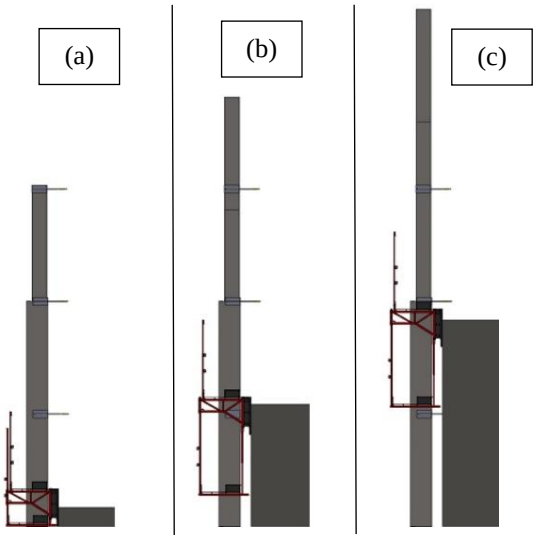



Figura 4. Inicio da concretagem (a). Retirada de uma barra shebolt para passagem do painel (b). Alcance máximo da etapa (c)

Após a guia atingir seu alcance máximo, um processo de reversão é necessário. O processo de reversão consiste em fixar painel de concretagem no concreto autoportante e desafixar o painel da ponta inferior da coluna interna, permitindo que o motor seja acionado no reverso e mova a coluna interna para baixo, porém sem mover o painel.

Depois de a coluna descer completamente o painel é novamente fixado na coluna interna, porém agora em sua ponta superior, provendo mais alcance ao sistema. Na Figura 5a é mostrado o processo 50% completo e na Figura 5b é mostrado o final do processo de reversão sem mísula.

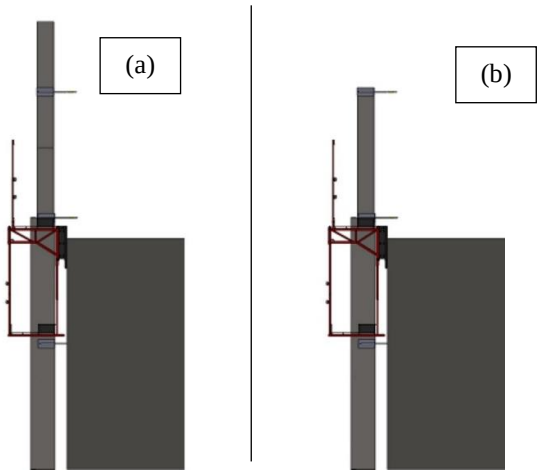



Figura 5. 50% do processo de reversão sem mísulas (a). Reversão sem mísulas completa (b)

Com o processo de reversão finalizado o conjunto pode voltar a subir continuando a concretagem até seu novo alcance máximo, a quarta etapa pode ser vista na Figura 6. Sendo a Figura 6a o início do processo, a Figura 6b o processo 50% concluído e a Figura 6c o processo concluído.

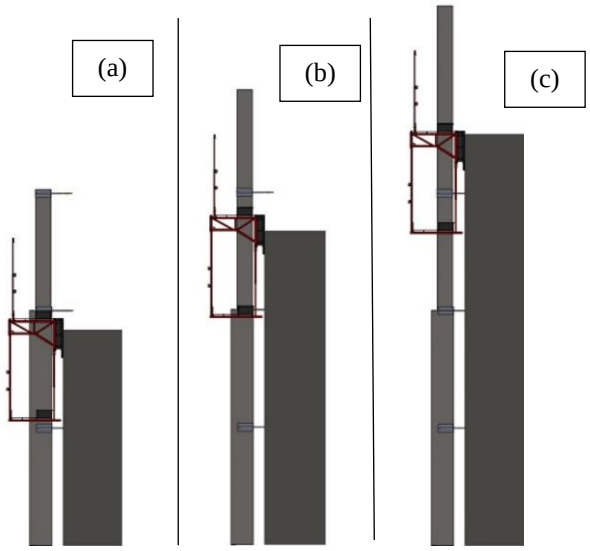



Figura 6. Reinicio da concretagem (a). 50% do da etapa concluída (b). alcance máximo da quarta etapa (c)

Caso o novo alcance máximo não atinja a altura necessária da concretagem um processo de reversão mais complexo precisa ser feito, o processo de reversão com mísula.

Este processo consiste em prender o painel contra a parede de concreto autoportante como anteriormente, em seguida desprender a coluna externa do chão e os shebolt da parede de concreto, acionando então o motor no reverso e trazendo a coluna externa para cima, o início deste processo pode ser visto na Figura 7a em 50% de conclusão na Figura 7b, pode ser visto completo na Figura 8a.

Ao terminar o processo descrito anteriormente é necessário a fixação de uma mão francesa, chamada mísula, abaixo da coluna externa, esta mísula é fixada da mesma maneira que as barras que faziam o travamento da estrutura estavam reaproveitando o espaço deixado no concreto por elas. A descrição da mísula esta apresentada no item 2.4 e na Figura 2b.

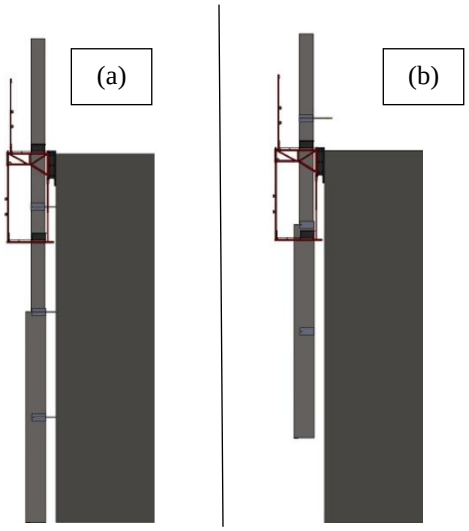



Figura 7. Início do processo de reversão com mísulas (a). 50% do processo de reversão com mísulas (b)

Após a mísula ser posicionada e fixada na guia externa e na parede de concreto ela se torna um novo engaste servindo como um novo chão para o processo, em que ele pode seguir o mesmo modo de concretagem da segunda etapa apresentada anteriormente, o sistema ganha ainda mais alcance dessa maneira. O processo de continuação da concretagem está apresentado em seu início na Figura 8a, 50% concluído na Figura 8b e completo na Figura 8c.

Caso o alcance máximo não for o suficiente para completar a concretagem mais uma reversão com mísula pode ser feita, repetindo a quinta etapa e sexta etapas até a concretagem atingir a altura desejada.

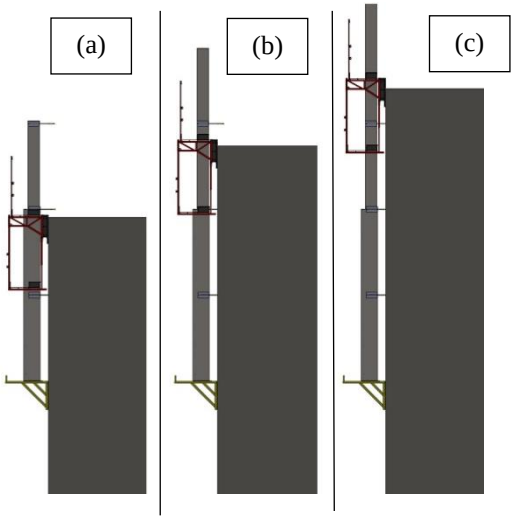



Figura 8. Termino do processo de reversão e início do processo de concretagem (a). 50% da etapa concluída (b). Alcance máximo da estrutura (c)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Modelagem tridimensional da estrutura

Para a confecção do protótipo, definição das medidas e do funcionamento do sistema o equipamento foi modelado em um software de desenho, nas Figuras 9a e 9b está o equipamento em uma vista isométrica, estando presente na Figura apenas a guia sem os painéis e andaimes, que fazem parte do equipamento porém não foram desenvolvidos neste trabalho. Na Figura 9a está a guia completamente retraída e na Figura 9b está a guia com metade de seu alcance.

Está destacado na Figura 9a o mancal cónico posicionado na parte superior da coluna externa, o objetivo deste mancal é fazer com que o fuso não trabalhe sobre compressão evitando que ele sofra com flambagem que era a principal preocupação causada por esse sistema de elevação durante o levantamento dos conceitos.

As Figuras 9c e 9d mostram uma comparação entre o módulo atual e o módulo proposto por esse trabalho utilizando um mesmo conjunto de painéis a andaimes, um módulo consiste nas guias e um conjunto de painéis e andaimes. Para uma melhor comparação entre os sistemas, o sistema desenvolvido neste trabalho, utilizando a guia mostrada nas Figuras 9a e 9b foi pintado das mesmas cores do sistema atual. As principais diferenças entre os dois modelos são o método de construtivo e o sistema de elevação, sendo a guia atual treliçada e a nova guia telescópica de perfil dobrado e a diferença do sistema de elevação sendo a nova guia com fuso e a antiga com macaco hidráulico e barrão. O modelo feito neste trabalho pode ser visto na Figura 9c e o modelo em utilização atualmente na Figura 9d.

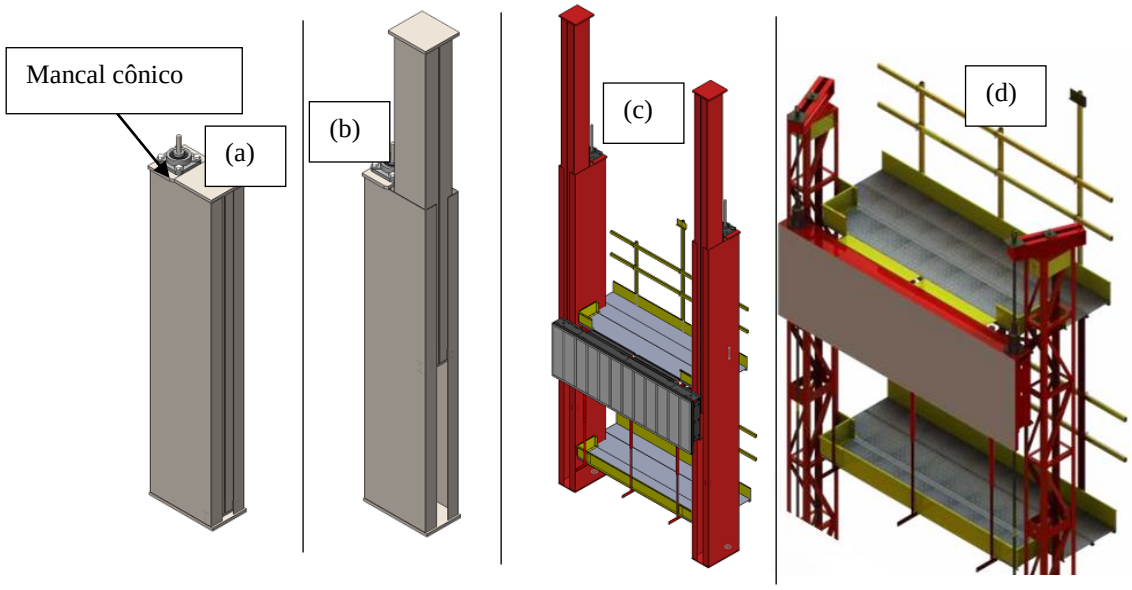



Figura 9. Vista isométrica da guia retraída(a) Vista isométrica da guia 50% aberta(b). Modelo proposto no trabalho(a) e o utilizado atualmente(b)

### 4.2 Protótipo funcional

Para que fosse possível verificar se o funcionamento do novo sistema proposto no item 3.1, foi desenvolvido em protótipo funcional na escala 1:6, uma imagem do protótipo pode ser vista na Figura 10. Para entender o funcionamento do sistema como um todo, foram construídos dois módulos no protótipo, além do protótipo foram construídas um mini pilar de vertedouro de usina hidrelétrica (feito de madeira) e armações (ferragens) acima dele, para obter uma melhor visualização do projeto, a Figura 10a mostra o protótipo em uma vista parecida com a apresentada na Figura 9c, porém como dito acima, com dois módulos e não apenas um. A Figura 10b apresenta uma vista lateral do protótipo em uma simulação de concretagem, semelhante as imagens apresentadas nos itens 3.1 e 3.12. A Figura 10c apresenta uma vista isométrica da simulação de concretagem.

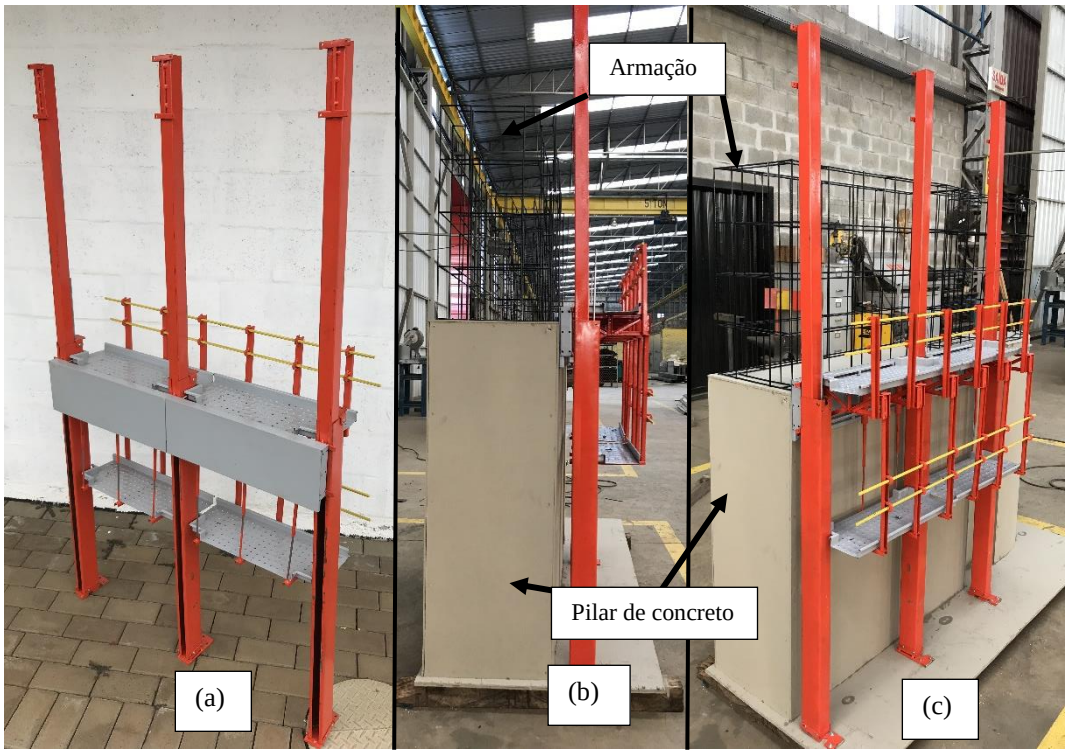



Figura 10. Protótipo do equipamento em vista isométrica(a) Vista lateral de uma simulação de concretagem(b) Vista isométrica de uma simulação de concretagem(c)

Os principais objetivos deste protótipo são facilitar a compreensão do funcionamento, ajudando no desenvolvimento de novas peças ou alterações de peças para o melhor funcionamento do sistema, além disso pretende-se utilizar esse protótipo como ferramenta de marketing pois ele facilita muito o entendimento do funcionamento proposto pelo novo sistema.

## 5. CONCLUSÕES

A guia auto telescópica desenvolvida consiste em uma alteração no atual sistema de fôrmas deslizantes, que visa gerar uma evolução significativa no sistema atual. A ideia consiste em um modelo de guia telescópica capaz de elevar os painéis junto com os andaimes e acessórios para realizar a concretagem, eliminando o sistema hidráulico, e diversos componentes, como barrões e considerável metragem de guias e acessórios.

Para o desenvolvimento do projeto foram levantados e analisados diversos conceitos estruturais e conceitos de sistemas de elevação, os sistemas foram esboçados, a partir da discussão dos conceitos optou-se por utilizar um sistema de elevação por fuso e uma guia telescópica tubular, estes foram os escolhidos por sua melhor adaptação as partes já existentes e redução na complexidade do projeto.

Após conceito e seu funcionamento ser definido percebeu-se que era necessário desenvolver algumas peças para possibilitar a operação do sistema, foram desenvolvidos dois tipos de abraçadeiras e uma extensão da coluna externa que ajudam a reduzir os comprimentos de flambagem e conte-la no caso das abraçadeiras da coluna externa e guiar e alinhar o sistema no caso da extensão.

As dimensões do conjunto foram definidas com o objetivo de manter todos os equipamentos contidos dentro da estrutura e de aproveitar o máximo de peças possível do sistema anterior. O dimensionamento das espessuras de chapa

utilizadas nas colunas foi feito a partir de um software simplificado de elementos finitos, segundo a (NBR14762:2010), já implementada no programa utilizado.

Para a comprovação do funcionamento do sistema foi desenvolvido um protótipo funcional que ajudou na compreensão do funcionamento do sistema e servirá para futuros aprimoramentos que devem ser feitos no conceito apresentado. Além de aprimoramentos no sistema outras sugestões de trabalhos futuros deixado é a de se realizar um estudo detalhado de custos deste sistema proposto em relação ao sistema anterior, levando em conta possíveis paralizações nas obras e taxas de manutenção ao longo do tempo e dimensionar e selecionar um sistema de elevação por fuso compatível com o sistema desenvolvido.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15696: Formas e escoramentos para estruturas de concreto - Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.

CARDOSO, M. Metalurgica Cardoso. Metalurgica Cardoso. Disponivel em: <www.metalurgicacardoso.com.br>. Acesso em: 20 setembro 2018.

JOÃO CARLOS DE MEDEIROS LIMA, R. Y. M. V. M. R. D. O. ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DO SISTEMA DE FÔRMAS DESLIZANTES EM COMPARAÇÃO COM O SISTEMA FÔRMAS CONVENCIONAIS. Universidade Potiguar. Natal, p. 15. 2015.

NAKAMURA, J. Fôrmas deslizantes. Infraestrutura Urbana, 2011. Disponivel em: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/8/formas-deslizantes-muito-utilizada-quando-o-cronograma-da-obra-239367-1.aspx>. Acesso em: 20 agosto 2018.

SILVA, J. M. Utilização de formas deslizantes na passarela estaiada do rio Camboriú-SC. Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinvile, p. 91. 2013.

T. DINESCO, A. S. C. R. Los encofrados deslizantes: técnica y utilización. Madrid, Espanha: Espasa-Calpe, 1973.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES BLOCO E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PRISMAS DE BLOCOS CERÂMICOS UTILIZADOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA CIDADE DE ERECHIM/RS

**Mariana Balvedi Zakrzevski**
**Gilson Francisco Paz Soares**
URI Erechim, RS 331, N° 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil
mariana_zak@hotmail.com, gilsonfps@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A alvenaria estrutural consiste em um sistema construtivo em que as paredes da edificação fazem o papel estrutural da obra, sem a necessidade da utilização de pilares para a sua sustentação. Feita por blocos cerâmicos ou de concreto, esse tipo de alvenaria deve receber uma atenção especial, pois a qualidade dos materiais utilizados e da execução irão interferir diretamente na durabilidade e eficiência da estrutura. Neste contexto, este projeto tem como objetivo verificar que grau de influência a resistência do bloco e a espessura da junta de argamassa de assentamento de um determinado tipo de bloco cerâmico utilizado na construção de alvenaria estrutural na cidade de Erechim-RS, exerce na resistência mecânica à compressão desta alvenaria, contribuindo assim, através das publicações destes resultados, com os estudos científicos nesta área e com a indústria regional. Os modelos experimentais evidenciaram que há influência da espessura da junta da argamassa de assentamento dos blocos nos prismas e, por conseguinte, no comportamento mecânico da alvenaria estrutural, tendo como parâmetro de análise a resistência característica à compressão dos prismas. Quanto aos níveis de influência, observou-se que quanto maior foi a resistência do bloco, menor foi a influência que a espessura da junta da argamassa de assentamento exerceu na resistência do conjunto.*

***Palavras chave:*** *alvenaria estrutural, resistência mecânica à compressão, prismas de dois blocos cerâmicos.*

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como tema geral a influência da resistência do bloco e da espessura da junta de argamassa de assentamento de blocos cerâmicos na resistência mecânica da alvenaria estrutural. Como questão de trabalho, de acordo com postulados teóricos, a resistência à compressão dos blocos é o fator principal na resistência da alvenaria e, portanto, também do corpo de prova (prismas) (RIZZATTI et al, 2012, p. 724). Ainda, a resistência mecânica de prismas decresce com o aumento da espessura da argamassa de assentamento (DUARTE, 1999).

Neste contexto, este projeto tem como objetivo geral verificar, experimentalmente, que grau de influência a resistência do bloco e a espessura da junta de argamassa de assentamento de um determinado tipo de bloco cerâmico utilizado na construção de alvenaria estrutural na cidade de Erechim-RS, exerce na resistência mecânica à compressão desta alvenaria, contribuindo assim, através das publicações destes resultados, com os estudos científicos nesta área e com a indústria regional.

Foram realizadas as caracterizações dos materiais utilizados na montagem dos prismas, sendo eles o cimento, cal e areia, necessários para a produção da argamassa de assentamento no laboratório da Instituição, e os blocos cerâmicos. Também foram feitas dosagens de argamassa e avaliação de sua resistência, de forma a suprir a demanda necessária, além da modelagem dos prismas de 2 blocos cerâmicos de resistência característica de 10 MPa e 15MPa, assentados com diferentes espessuras de argamassa, e os seus ensaios de compressão, cumprindo-se assim a etapa experimental do projeto.

O cimento Portland CP IV - 32 foi o material utilizado como aglomerante da argamassa, responsável pela sua resistência. A areia utilizada foi a natural comercializada na cidade. A cal, que contém um módulo de finura muito pequeno, também funcionou como aglomerante neste caso. Os blocos cerâmicos estruturais utilizados na confecção dos prismas foram os comumente aplicados na região em obras de alvenaria estrutural.

Observa-se que a argamassa de assentamento dos blocos no prisma deve ter uma resistência entre 70% e 100% da resistência característica do bloco (MOHAMAD,1998).

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho teve como análise do estudo o método experimental de prismas, os quais são utilizados blocos cerâmicos estruturais de paredes vazadas utilizados nas construções da cidade de Erechim-RS, que foram anteriormente à confecção dos prismas, devidamente caracterizados quanto à sua resistência característica à compressão e geometria, de acordo com a NBR 15270:3 (ABNT, 2005). A argamassa de assentamento para esses prismas foi confeccionada no laboratório da universidade para obtenção da resistência característica necessária.

Com esses materiais foram produzidos prismas de 2 blocos, de acordo com a NBR 15812:2 (2010). A determinação do desempenho mecânico foi obtida através da tensão de ruptura à compressão e realizada variando-se as espessuras da argamassa de assentamento, sendo elas: 4 mm, 10 mm e 20 mm, sendo 5 amostras para cada espessura, totalizando 15 corpos de prova de 2 blocos com resistência de 10 MPa e mais 15 de 2 blocos de resistência de 15 MPa.

Os prismas confeccionados foram submetidos tensão de compressão na prensa do laboratório da universidade, possibilitando a análise dos resultados presentes neste trabalho

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados nesta pesquisa, referentes a toda a etapa experimental proposta, serão apresentados nesta seção. Ressalta-se que, quanto aos ensaios de caracterização do cimento, da cal hidratada, do agregado miúdo, dos blocos cerâmicos estruturais e das argamassas de assentamento, os seus resultados serão aqui reapresentados, porém de forma resumida, uma vez que se concluiu que todos os materiais estavam aptos a serem utilizados na continuidade do trabalho experimental.

### 3.1 Caracterização do cimento

O cimento portland foi caracterizado a fim de confirmar as especificações apresentadas pelo fabricante, que conferem características físicas, químicas e mecânicas do material em questão. Após as verificações, constatou-se que as propriedades relatadas pelo fabricante, no que se refere às suas resistências à compressão aos 1, 3, 7 e 28 dias, estão de acordo com a norma NBR 5736. Da mesma forma, a composição química do cimento, apresentada pelo fabricante, mostrou que os parâmetros MgO, SO3 e perda ao fogo estão dentro do limite máximo estabelecido, porém a quantidade de resíduo insolúvel está acima. Em relação aos testes realizados no laboratório foi possível conferir a massa específica apresentada pelo fabricante, o qual diferiu em apenas 0,02cm³/g, sendo este um valor insignificante de diferença.

### 3.2 Caracterização da cal hidratada

Na caracterização da cal hidratada, os valores referência obtido foram módulo de finura de 0,69 e dimensão máxima característica de 1,18 mm.

### 3.3 Caracterização do agregado miúdo (areia)

O agregado miúdo foi utilizado para a produção da argamassa que foi utilizada no assentamento dos blocos dos prismas em estudo. Para sua caracterização foram realizados ensaios para a determinação da sua granulometria, absorção, e massa unitária. Todos os ensaios foram repetidos duas vezes, como especificado em norma.

O resumo dos resultados do ensaio de granulometria é apresentado da Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaio de granulometria do agregado miúdo

| | |
|---|---|
| Módulo de Finura | 1,62 |
| Dimensão Máxima Característica (mm) | 2,36 |
| Massa Específica (g/cm³) | 2,58 |
| Massa Unitária (g/cm³) | 1,54 |

Fonte: Autora (2018).

A análise granulométrica apresentada na tabela 1 define um módulo de finura 1,62, classificado como zona utilizável inferior que, de acordo com a norma NBR 7211 varia de 1,55 a 2,20. Essa areia apresenta também granulometria contínua, que possui grãos de todos os tamanhos, o mais adequado para a produção da argamassa a ser produzida.

No que se refere ao ensaio de absorção, os resultados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Ensaio de absorção do agregado miúdo

| Fator* | Ensaio 1 | Ensaio 2 | Fator* |
|---|---|---|---|
| ms (g) | 1017,3 | 1018,1 | ms (g) |
| m (g) | 1000,0 | 1000,0 | m (g) |
| A (%) | 0,0173 | 0,0181 | A (%) |

*ms (g) - massa saturada superfície seca
m (g) - massa seca em estufa
A (%) - Absorção

Fonte: Autora (2018).

Nos dois ensaios, os valores da absorção foram próximos, 0,0170% e 0,0181%, o que resulta em uma média de 0,0177%, dentro dos limites definidos por norma, que estabelece um máximo de 0,05%.

### 3.4 Caracterização dos blocos cerâmicos estruturais

A caracterização dos blocos cerâmicos de 10 e 15 MPa seguiu o que preconiza a norma ABNT, NBR 15270 - 3, 2005.

Com relação às medições das paredes externas dos blocos das duas resistências distintas, conclui-se que, em relação às dimensões (largura, comprimento e altura), os coeficientes de variação e desvios padrão foram muito baixos, o que representou amostragens homogêneas. No que se refere aos desvios em relação ao esquadro e planeza das faces o limite definido pela norma NBR 15270-1 é de 3 mm no máximo, o que permitiu observar que todos os blocos estavam dentro destes parâmetros.

Quanto ao índice de absorção de água dos blocos, obteve-se um valor médio de 12,09% para o bloco de resistência nominal de 10 MPa, enquanto que, para os de 15 MPa, o valor médio encontrado foi de 12,14%. Visto que os coeficientes de variação de ambas, classificaram as amostras como homogêneas e que a normativa define que a absorção de água dos blocos devem estar entre 8 e 22%, foi possível concluir que os blocos analisados atenderam aos limites de norma, habilitando assim a utilização dos mesmos.

Para a determinação da resistência à compressão foram utilizados os mesmos blocos dos ensaios anteriores, secos e com suas superfícies limpas e sem irregularidades. Após realizado o capeamento dos blocos com uma argamassa forte de traço 1:1, e de espessura de 2 mm, os corpos de prova foram submetidos a secagem total e novamente submersos em água por 6 horas.

Após, foi realizado o rompimento dos mesmos na prensa, onde foi determinada a resistência à compressão. Os resultados obtidos estão apresentados resumidamente (valores médios de 13 corpos de prova) nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Resistência dos blocos de 10 MPa

| Corpos de Prova | Área Média ($mm^2$) | Força máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| Média | 40600 | 430,70 | 10,61 |
| Desvio Padrão | 00000 | 124,60 | 3,07 |
| Coeficiente de variação (%) | 00000 | 29,94 | 28,94 |
| Mínimo | 40600 | 218,10 | 5,37 |
| Máximo | 40600 | 625,10 | 15,40 |

Fonte: Autora (2018).

Tabela 4 - Resistência dos blocos de 15 MPa

| Corpos de Prova | Área Média ($mm^2$) | Força máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| Média | 40600 | 437,50 | 10,77 |
| Desvio Padrão | 00000 | 158,90 | 3,915 |
| Coeficiente de variação (%) | 00000 | 36,33 | 36,33 |
| Mínimo | 40600 | 152,50 | 3,76 |
| Máximo | 40600 | 689,10 | 16,97 |

Fonte: Autora (2018).

Com os valores de resistência à compressão obtidos, calculou-se a resistência característica dos blocos utilizando a equação:

$$f_{bk,est} = \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \cdots f_{b(i-1)}}{i-1}\right] - f_{bi} \quad (1)$$

Onde:

fbk,est: resistência característica estimada da amostra, em MPa;

fb(1), fb(2), ..., fbi: valores de resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

i: n / 2, se n for par;

i: (n - 1) / 2, se n for ímpar;

n: quantidade de blocos da amostra.

Os resultados são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Resistência característica à compressão dos blocos (fbk)

| **Resistência à compressão do bloco segundo o fabricante** | **Resistência à compressão média em laboratório (MPa)** | **Resistência característica à compressão fbk (MPa)** |
|---|---|---|
| 10 MPa | 10,61 | 8,45 |
| 15 MPa | 9,98 | 6,86 |

Fonte: Autora (2018).

Analisando os resultados das resistências dos corpos-de-prova, apresentados na tabela 5, percebe-se que a resistência informada pelo fabricante difere da resistência característica calculada, decorrente dos ensaios de caracterização dos blocos em laboratório. Muito embora esta diferença não interfira no prosseguimento desta pesquisa, uma vez que a argamassa de assentamento dos prismas será produzida respeitando um percentual aproximado de sua resistência em relação a resistência característica aqui obtida para os blocos, estes resultados evidenciam ainda mais a importância da realização de ensaios de caracterização de materiais antes do seu uso, afim de que sejam conhecidas as suas reais características, mesmo no caso daqueles cujas essas características já tenham sido informadas pelo fabricante.

### 3.5 Resistência das argamassas de assentamento

Com os resultados das resistências dos blocos apresentadas na tabela 5 foi possível determinar a resistência das argamassas, fixada em torno de 80% do bloco, neste trabalho. Sendo assim, para os blocos de resistência característica 8,45 MPa, a argamassa deve ter uma resistência aproximada de 6,76 MPa, enquanto que para os blocos de resistência característica de 6,86 MPa, a argamassa deve ter uma resistência aproximada de 5,49 MPa. Assim, foram produzidos três corpos de prova prismáticos com quatro traços de argamassa diferentes, os quais possuem dimensões de 4cm x 4cm x 16cm para serem submetidos a ensaios de tração na flexão e 6 corpos de prova de 4cm x 4cm x 4cm para o ensaio de compressão. Os traços produzidos são compostos de cimento Portland, cal e areia, e são os seguintes:

1º - 1: 0,5: 4

2º - 1: 0,5: 4,5

3º - 1: 1: 4

4º - 1: 1: 5

Os corpos de prova foram submetidos à cura na câmara climatizada, onde permaneceram por 28 dias, quando foi possível realizar os ensaios de tração na flexão e de compressão, cujos resultados estão mostrados resumidamente (valores médios de 3 amostras) nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Resistências no ensaio de tração na flexão

| Corpo de prova | Largura (mm) | Espessura (mm) | Comprimento da base (mm) | Força máxima (N) |
|---|---|---|---|---|
| 1º Traço (1: 0,5: 4) | | | | |
| Média | - | - | - | 1088,57 |
| Desvio padrão | - | - | - | 58,33 |
| Coef. de Variação (%) | - | - | - | 5,35 |
| 2º Traço (1: 0,5: 4,5) | | | | |
| Média | - | - | - | 1007,40 |
| Desvio padrão | - | - | - | 18,29 |
| Coef. de Variação (%) | - | - | - | 1,82 |
| 3º Traço (1: 1: 4) | | | | |
| Média | - | - | - | 827,23 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Desvio padrão | - | - | - | 41,97 |
| Coef. de Variação (%) | - | - | - | 5,07 |
| 4º Traço (1: 1: 5) | | | | |
| Média | - | - | - | 727,10 |
| Desvio padrão | - | - | - | 75,64 |
| Coef. de Variação (%) | - | - | - | 10,40 |

Fonte: Autora (2018).

Tabela 7 - Resistência no ensaio de compressão

| Corpo de prova | Força máxima média (N) | Tensão média (MPa) |
|---|---|---|
| 1º Traço (1: 0,5: 4) | 12.337,20 | 7,71 |
| Desvio padrão | 2.049,42 | |
| Coeficiente de Variação (%) | 16,61 | |
| 2º Traço (1: 0,5: 4,5) | 10.428,82 | 6,52 |
| Desvio padrão | 1.010,94 | |
| Coeficiente de Variação (%) | 9,69 | |
| 3º Traço (1: 1: 4) | 7.672,65 | 5,29 |
| Desvio padrão | 1.786,97 | |
| Coeficiente de Variação (%) | 23,29 | |
| 4º Traço (1: 1: 5) | 8.319,67 | 5,08 |
| Desvio padrão | 1.285,78 | |
| Coeficiente de Variação (%) | 15,45 | |

Fonte: Autora (2018).

Para que fosse possível definir os traços de argamassa para cada resistência característica de bloco foi utilizada a tabela 7, que apresenta as tensões médias obtidas através dos ensaios de compressão dos corpos de prova. Analisando os resultados, optou-se que, para os blocos de fbk = 8,45 MPa será utilizado o 2º Traço (1: 0,5: 4,5), que apresenta resistência de 6,52 MPa, (77,16% da resistência característica do bloco). Já para os blocos de fbk = 6,86 MPa será utilizado o 4º traço (1: 1: 5), que apresenta tensão de 5,08 MPa, equivalente a 74,05% da resistência característica do bloco.

### 3.6 Resistência característica à compressão dos prismas

A montagem dos prismas de dois blocos foi então realizada conforme as combinações de blocos e argamassas de assentamento mencionadas no final do item anterior. As espessuras da argamassa foram três para cada um dos dois tipos prismas, sendo elas: 4 mm, 10 mm e 20mm, onde o valor de 10 mm é a referência indicada por norma, e as demais, extrapolações objeto de investigação desta pesquisa.

Após o assentamento dos blocos, os prismas passaram pelo processo de capeamento para regularização das superfícies inferior e superior dos mesmos, com a aplicação de uma argamassa forte, com o traço de 1:1, sendo uma parte de cimento e uma parte de areia, uma vez que esta argamassa de capeamento deve ser mais resistente que os blocos, afim de que a mesma não rompa antes que os prismas.

Finalizado o processo de capeamento, os prismas foram alocados na câmara climatizada, onde permaneceram por 28 dias, tempo necessário para a cura da argamassa de assentamento, até que a mesma atingisse a resistência desejada.

O ensaio dos prismas foi realizado na prensa do laboratório de Materiais de Construção da URI - Erechim, onde foi analisada sua resistência à compressão. As tabelas 8 a 13 apresentam os resultados dos ensaios de compressão.

Tabela 8 - Resistência à compressão dos prismas com blocos de fbk = 8,45 MPa e 20 mm de espessura de argamassa de assentamento.

| Corpo de prova | Área média ($mm^2$) | Força Máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| CP1 | 40600,00 | 152,30 | 3,75 |
| CP2 | 40600,00 | 214,70 | 5,29 |
| CP3 | 40600,00 | 133,40 | 3,29 |
| CP4 | 40600,00 | 83,20 | 4,51 |
| CP5 | 40600,00 | 230,00 | 5,67 |
| Média | 40600,00 | 162,72 | 4,50 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Desv. Padrão | - | 60,25 | 1,00 |
| Coef. Var. (%) | - | 37,03 | 22,27 |

Fonte: Autora (2019).

Tabela 9 - Resistência à compressão dos prismas com blocos de fbk = 8,45 MPa e 10 mm de espessura de argamassa de assentamento.

| Corpo de prova | Área média (mm²) | Força Máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| CP1 | 40600,00 | 310,70 | 7,65 |
| CP2 | 40600,00 | 264,10 | 6,51 |
| CP3 | 40600,00 | 335,40 | 8,26 |
| CP4 | 40600,00 | 246,40 | 6,07 |
| CP5 | 40600,00 | 351,60 | 8,66 |
| Média | 40600,00 | 301,64 | 7,43 |
| Desv. Padrão | - | 45,22 | 1,11 |
| Coef. Var. (%) | - | 14,99 | 14,97 |

Fonte: Autora (2019).

Tabela 10 - Resistência à compressão dos prismas com blocos de fbk = 8,45 MPa e 4 mm de espessura de argamassa de assentamento.

| Corpo de prova | Área média (mm²) | Força Máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| CP1 | 40600,00 | 255,60 | 6,30 |
| CP2 | 40600,00 | 305,00 | 7,51 |
| CP3 | 40600,00 | 242,70 | 5,98 |
| CP4 | 40600,00 | 246,90 | 6,08 |
| CP5 | 40600,00 | 426,60 | 10,51 |
| Média | 40600,00 | 295,36 | 7,28 |
| Desv. Padrão | - | 77,49 | 1,91 |
| Coef. Var. (%) | - | 26,24 | 26,24 |

Fonte: Autora (2019).

Tabela 11 - Resistência à compressão dos prismas com blocos de fbk = 6,86 MPa e 20 mm de espessura de argamassa de assentamentos.

| Corpo de prova | Área média (mm²) | Força Máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| CP1 | 40600,00 | 194,60 | 4,79 |
| CP2 | 40600,00 | 152,00 | 3,74 |
| CP3 | 40600,00 | 122,10 | 3,01 |
| CP4 | 40600,00 | 114,20 | 2,81 |
| CP5 | 40600,00 | 143,20 | 3,53 |
| Média | 40600,00 | 145,22 | 3,58 |
| Desv. Padrão | - | 31,56 | 0,78 |
| Coef. Var. (%) | - | 21,74 | 21,71 |

Fonte: Autora (2019).

Tabela 12 - Resistência à compressão dos prismas com blocos de fbk = 6,86 MPa e 10 mm de espessura de argamassa de assentamentos.

| Corpo de prova | Área média (mm²) | Força Máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| CP1 | 40600,00 | 498,30 | 12,27 |
| CP2 | 40600,00 | 270,70 | 6,67 |
| CP3 | 40600,00 | 332,90 | 8,20 |
| CP4 | 40600,00 | 311,90 | 7,68 |
| CP5 | 40600,00 | 247,60 | 6,10 |
| Média | 40600,00 | 332,28 | 8,18 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Desv. Padrão | - | 98,67 | 2,43 |
| Coef. Var. (%) | - | 29,69 | 29,67 |

Fonte: Autora (2019).

Tabela 13 - Resistência à compressão dos prismas com blocos de fbk = 6,86 MPa e 4 mm de espessura de argamassa de assentamentos.

| Corpo de prova | Área média (mm²) | Força Máxima (kN) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| CP1 | 40600,00 | 205,70 | 5,07 |
| CP2 | 40600,00 | 268,00 | 6,60 |
| CP3 | 40600,00 | 235,70 | 5,81 |
| CP4 | 40600,00 | 243,30 | 5,99 |
| CP5 | 40600,00 | 146,70 | 3,61 |
| Média | 40600,00 | 219,88 | 5,42 |
| Desv. Padrão | - | 46,56 | 1,15 |
| Coef. Var. (%) | - | 21,17 | 21,19 |

Fonte: Autora (2019).

Embora os valores de coeficientes de variação das tabelas 8 a 13 classifiquem as amostras como levemente heterogêneas, é perceptível que estes valores nominais de resistência à compressão dos prismas, decorrentes diretamente dos ensaios de ruptura, evidenciam resistências maiores naqueles prismas com espessura de argamassa de 10 mm, indicada por norma (ABNT, NBR 14322, 1999), conforme as tabelas 9, no caso dos prismas com blocos de fbk = 8,45 MPa, e 10, para os prismas com blocos de fbk = 6,86 MPa.

Com os valores nominais das resistências dos prismas, foram realizados, na sequência, os cálculos das resistências características dos prismas (fpk), cujos resultados são apresentados na tabela 14.

Tabela 14 - Resistências características à compressão dos prismas (fpk), de acordo com o bloco e a espessura de argamassa de assentamento.

| Resistência característica à compressão dos blocos fbk (MPa) | Espessura de argamassa de assentamento (mm) | Resistência característica à compressão dos prismas fpk (MPa) |
|---|---|---|
| 8,45 | 4 | 3,83 |
| | 10 | 6,32 |
| | 20 | 6,18 |
| 6,86 | 4 | 3,04 |
| | 10 | 6,96 |
| | 20 | 4,60 |

Fonte: Autora (2019).

Da mesma forma que para os resultados nominais, percebe-se na tabela 14, que os valores de resistências características à compressão dos prismas (fpk) também são maiores naqueles prismas com espessura de argamassa de 10 mm, indicada por norma, mostrando total coerência e interligação dos resultados até o momento. Para uma melhor análise, foram construídos os gráficos apresentados nas figuras 1 e 2.

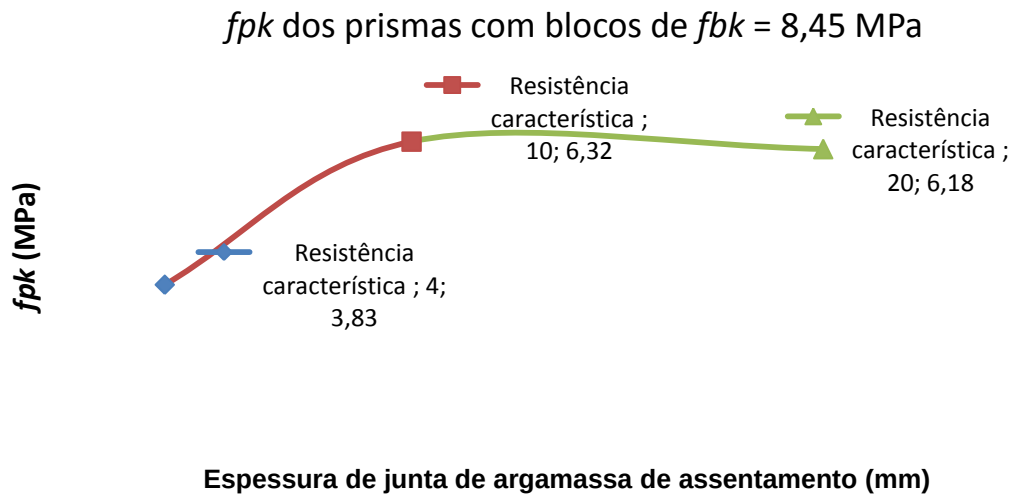



Figura 1 - Resistências características à compressão dos prismas (fpk) com blocos de fbk = 8,45 MPa, em função da espessura de argamassa de assentamento.

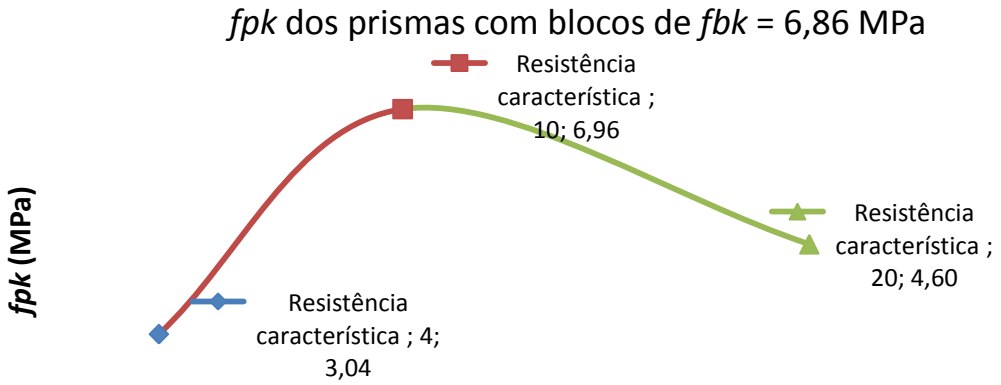



Figura 2 - Resistências características à compressão dos prismas (fpk) com blocos de fbk = 6,86 MPa, em função da espessura de argamassa de assentamento.

Outra discussão possível de realizar, através da observação das figuras 3 e 4, diz respeito à sensibilidade dos dois tipos de prismas quanto a alteração da espessura da junta da argamassa de assentamento. É possível observar que a maior variação nos valores de fpk obtidos para os prismas, nas espessuras de junta fora dos parâmetros normativos em relação à espessura referência de 10 mm, ocorreu no prisma com blocos menos resistentes, ou seja, no de blocos com fbk = 6,86 MPa. Nestes, o valor de fpk para a espessura de 4 mm representa 43,68% do valor para a espessura normativa de 10 mm, e o da espessura de 20 mm representa 66,10%. Enquanto isto, nos prismas de blocos com fbk = 8,45 MPa, estas relações são, respectivamente, de 60,60% e 97,78%.

## 4. CONCLUSÕES

Os modelos experimentais evidenciaram que há influência da espessura da junta da argamassa de assentamento dos blocos nos prismas e, por conseguinte, no comportamento mecânico da alvenaria estrutural, tendo como parâmetro de análise a resistência característica à compressão dos prismas;

Quanto aos níveis de influência, observou-se que, para os materiais utilizados e caracterizados nesta pesquisa, quanto maior foi a resistência do bloco, menor foi a influência que a espessura da junta da argamassa de assentamento exerceu na resistência do conjunto (prisma), revelando que quanto maior for a resistência dos blocos, menos sensível à perda de capacidade de carga será a alvenaria, dentro dos limites estudados aqui;

Os maiores valores de resistência característica foram obtidos com o valor de 10 mm de espessura de junta de argamassa de assentamento, conforme apresentado em norma, indicando que os materiais utilizados, bem como o conjunto, comportaram-se de forma coerente.

## 5. REFERÊNCIAS

_____. **NBR 15270:1:** Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270:3**: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5736:** Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 14322**: Paredes de alvenaria estrutural -Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão Agregados - Especificação. Rio de Janeiro, 1999.

RIZZATTI, E. et al. Análise do comportamento mecânico das alvenarias estruturais de blocos cerâmicos utilizando modelos físicos reduzidos – efeito da geometria, **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. 709-733, out. 2012.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: ANICER, 1999.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES DOSAGENS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PARA PRÉ-MOLDADOS

**Mariana Zucchi Vargas**
**Rafael Danilo Vial**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
marianazv03@gmail.com, rafaelvial@yahoo.com.br

**Beatriz Schimelfenig**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
biaschimel@hotmail.com

**Cristina Vitorino da Silva**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Bairro Demoliner, Erechim-RS, 99704-380.
cristina@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O concreto pré-fabricado nada mais é que um processo evolutivo, que por meio de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento de controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva. Com o recente aumento da utilização do pré-fabricado torna-se relevante realizar pesquisas tecnológicas no intuito de buscar diretrizes seguras para o emprego e aproveitamento da qualidade do material. E uma das qualidades principais que a pré-fabricação exige é o emprego de um concreto de qualidade, portanto, propriedades como as resistências mecânicas e dureza superficial se fazem de suma importância para um controle da qualidade do produto final. Com o intuito de analisar a influência dos materiais na produção do concreto, foram confeccionados concretos com e sem sílica ativa, submetendo os mesmos a dois diferentes modos de vibração/adensamento. Ainda, como método de avaliação, foram realizados para ambas as amostras ensaios de resistência à compressão, módulo de deformação, dureza superficial e acabamento superficial (análise qualitativa/visual). Os resultados obtidos foram analisados e posteriormente levados a uma comparação de custo (R$/MPa). Os concretos confeccionados com a presença de sílica ativa obtiveram resultados melhores aos 28 dias quando comparados aos compósitos sem a adição do material, devido ao fato de a sílica ser um material que apresenta maior reatividade além dos 28 dias do que o cimento CPV-ARI utilizado no trabalho. Já no adensamento, a plataforma vibratória apresentou melhor resultado, homogeneizando melhor a mistura e apresentando um aspecto visual final melhor que o adensamento à imersão. Na análise do índice de R$/MPa, os compósitos sem a presença da substituição de sílica apresentaram melhores resultados aos 28 dias.*

***Palavras chave:*** *Concreto pré-fabricado. Propriedades. Sílica. Adensamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto pode ser considerado o material de construção mais empregado em todo o mundo, porém ainda carece de estudos a fim de propiciar maior durabilidade às construções. Com o desenvolvimento de estruturas cada vez mais arrojadas, diversos estudos têm sido conduzidos com o intuito de prevenir ou reparar patologias já existentes. Segundo Helene (2007), apesar de o concreto ser o material mais utilizado, está submetido a diferentes sobrecargas e ações ambientais, o que está associado ao surgimento de manifestações patológicas. Com isso, o custo para a reparação pode chegar a até 40% dos recursos totais (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada com outros ramos industriais. Dentre as razões que assim a caracterizam, podemos citar, de maneira geral, a sua baixa produtividade, o seu grande desperdício de materiais, a lentidão e o baixo controle de qualidade, conforme aponta El Debs (2017).

Segundo El Debs (2017), uma das formas de buscar a redução desse atraso é com técnicas associadas à utilização de elementos pré-moldados de concreto. Desse modo, partes das construções seriam feitas em melhores condições que as do local e depois montadas, como parte do processo executivo.

Para Ferreira *et al.* (2005), a industrialização da construção civil por meio da utilização de peças de concreto pré-fabricados, promoveu um salto de qualidade nos canteiros de obras, tornando-as mais seguras e organizadas. Tal fato se

deve ao controle de qualidade que é empregado ao longo da sua produção, com emprego de materiais de boa qualidade, fornecedores selecionados e mão-de-obra treinada e qualificada.

Este trabalho, diz respeito a uma técnica construtiva que se propõe a favorecer a racionalização e a industrialização da construção civil, com o propósito de obter um ganho em qualidade e velocidade na construção, dentre outros benefícios, que é a pré-fabricação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Conceituação de concreto Pré-Moldado e Pré-Fabricado

De acordo com Koncz (1975), a pré-fabricação é um método industrial construtivo em que os elementos são fabricados em série, por métodos de produção em massa, nos quais aqueles são montados mediante o uso de equipamentos e dispositivos de elevação. Revel (1973) é ainda mais sucinto ao definir sobre a pré-fabricação, na qual ele afirma que é a fabricação de certo elemento antes do posicionamento final em obra. Revel (1973), ainda inclui o conceito de pré-moldagem, que é a fabricação do elemento em canteiro, mas não em sua posição final da estrutura, com posterior elevação e montagem até a referida posição.

Novaes (1996), acrescenta que os processos construtivos pré-fabricados e industrializados caracterizam-se por transferirem para outros ambientes produtivos (tal como fábricas especializadas) a produção de considerável parcela de componentes que, nos processos tradicionais e racionalizados, são produzidos nos próprios canteiros de obras.

Conforme a NBR 9062 (2017), elemento pré-fabricado é todo o elemento executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadram e atendem aos requisitos mínimos das especificações.

Já elemento pré-moldado é definido pela NBR 9062 (2017) como elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva da estrutura.

Já para El Debs (2017), dependendo da forma de como os elementos são concebidos e produzidos, o concreto pré-moldado (COM) pode ser enquadrado, como: o pré-moldado de fábrica que é aquele executado em instalações permanentes distantes da obra, podendo ou não atingir o nível de pré-fabricado, segundo critério da NBR (9062) relacionada com o controle de qualidade. Em contrapartida, o pré-moldado de canteiro é executado em instalações temporárias nas proximidades da obra, podem ser mais ou menos sofisticadas, dependendo da produção e da produtividade desejada.

### 2.2 Durabilidade e vida útil de estruturas de concreto

De acordo com Aitcin (2000), a durabilidade do concreto é definida como a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, conservando sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente.

Já para Andrade (2000), diz que para uma estrutura de concreto ser considerada durável esta deve ser projetada, construída e operada de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, ela mantenha segurança, funcionalidade e aparência aceitável durante um período de tempo, especificado ou não especificado, sem necessitar altos custos com manutenção e reparos.

Para Aitcin (2000), porém, as atividades relacionadas à produção do concreto (mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura) são as que mais influenciam na durabilidade do mesmo.

Para Andrade (2000), os aspectos relacionados a durabilidade e desempenho que as estruturas deveriam ter durante a sua vida útil não eram levados em consideração, pois imaginava-se que o concreto manteria suas propriedades praticamente integral ao longo do tempo. Tais paradigmas caíram quando apareceram elevados índices de degradação das estruturas.

Como determina CEB (2012), vida útil é período de tempo em que a estrutura preserva os requisitos de projeto (segurança, estabilidade, funcionalidade e estética) sem exigir medidas extras na manutenção e reparo, incluindo nestes requisitos aspectos de durabilidade como as ações do meio ambiente entre as possíveis solicitações a que a estrutura estará sendo submetida. Uma das maiores dificuldades em estimar a durabilidade de uma dada estrutura é justamente a variabilidade deste ambiente agressivo, que é mutável e geralmente só pode ser estimado de forma aproximada.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Materiais

O cimento Portland utilizado para a produção dos concretos foi o CPV-ARI, para o qual foram obtidos, em laboratório, os valores de 3,08 g/cm³ para a massa específica e 2,22% de resíduos retidos na peneira nº 200, o que caracteriza a finura do aglomerante. Os ensaios foram realizados conforme dispõe a NBR 16697 (ABNT, 2018).

O agregado miúdo empregado foi a areia média, a qual foi submetida aos seguintes ensaios: análise granulométrica, massa específica e massa unitária. A dimensão máxima característica determinada foi igual a 2,36 mm, enquanto que o módulo de finura encontrado foi igual a 1,62. Já para as demais características, obtiveram-se os seguintes valores: 2,58 g/cm³ para a massa específica e 1,54 g/cm³ para a massa unitária. Todos os procedimentos tiveram como base as seguintes normativas: NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR 45 (ABNT, 2006).

O agregado graúdo utilizado apresentava origem basáltica, sendo comercialmente conhecido como brita 1. A dimensão máxima característica determinada foi igual a 19,00 mm, enquanto que o módulo de finura encontrado foi igual a 6,94. Os valores obtidos para a massa específica, massa unitária e absorção de água, respectivamente, foram os seguintes; 2,92 g/cm³, 1,60 g/cm³ e 0,78%. Os ensaios foram realizados conforme as disposições das normas técnicas pertinentes: NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 53 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Outros materiais utilizados para a produção dos concretos foram o aditivo superplastificante, em um teor de 0,1% sobre a massa de cimento, a água, proveniente da rede de abastecimento local. A sílica ativa, utilizada para auxiliar no ganho de resistência, foi colocada em substituição de 0% e 10% do volume de cimento nos concretos produzidos, com densidade de 2,05g/cm³.

### 3.2 Dosagem Experimental

O método de dosagem utilizados foi o IPT/EPUSP (HELENE E TERZIAN, 1992). A resistência característica à compressão do concreto (*fck*) foi estabelecida como igual a 25 MPa. Por conseguinte, definiu-se a resistência de dosagem correspondente a um desvio padrão de 4,0 MPa, de acordo com a Eq. (1).

$$f_{ck} = f_{cj} + 1{,}65 s_d \quad (1)$$

Onde:

$f_{cj}$ é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, em MPa;
$f_{ck}$ é a resistência característica do concreto à compressão, em MPa;
$s_d$ é o desvio padrão da dosagem, em MPa.

Assim, para atender o $f_{ck}$ de 25 MPa, adotou-se um $f_{cj}$ de 31,6 MPa e abatimento do tronco de cone fixado em 100±20 mm, uso de aditivo superplastificante na ordem de 0,1% e cimento CPV-ARI. A Tab. 1 apresenta o traço utilizado no trabalho para a confecção do concreto.

Tabela 1. Traço utilizado no trabalho – CP V ARI

| Traço Unitário (1:m) | Relação a/c | Consumo de cimento (kg/m³) | Teor de argamassa (%) | H (%) | Abatimento (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1:6 | 0,60 | 320,21 | 50 | 8,60 | 100 |

### 3.3 Confecção dos corpos de prova

Após a dosagem e escolha do traço para a confecção do concreto, foi realizada a moldagem de CP's, seguindo a norma NBR 5738 (2015). Foram confeccionados um total de 36 CP's de 100x200mm para a posterior realização do ensaio de compressão uniaxial, 36 CP's de 100x200mm para sequente realização do ensaio de módulo de deformação, 18 placas de 250x250x100mm para análise da dureza superficial e também para a análise qualitativa do acabamento superficial.

A mistura dos materiais foi feita de forma mecânica em betoneira de eixo vertical, previamente imprimada, seguindo sempre a mesma ordem de mistura para todos os traços. Após, os CP's foram adensados, para em seguida serem identificados e deixados por 24h em local protegido de intempéries até a desforma, o processo é demonstrado pela Fig. 1.



(a) (b) (c)

Figura 1. Processo de produção dos concretos: mistura dos materiais na betoneira (a); adensamento dos Cp's (b); CP's identificados aguardando desforma (c)

### 3.4 Ensaios realizados

Foram realizados quatro tipos de ensaios: resistência à compressão uniaxial, propriedade diretamente ligada à segurança e estabilidade estrutural; módulo de deformação, onde foi determinada a deformação do concreto em estado endurecido por meio da aplicação de determinada carga; e dureza superficial, onde são fornecidos elementos para avaliação da qualidade do concreto endurecido através do índice esclerométrico.

Também foi realizada a análise do acabamento superficial (análise qualitativa) de corpos de prova e de 16 placas de concreto com medidas de 250x150x100mm.

### 3.5 Método de análise do índice de R$/MPa

A análise do índice de R$/MPa foi realizada através de 4 etapas executadas de igual forma para todos os traços da pesquisa, são elas:

a) Levantamento das quantidades necessárias para a produção de 1 m³ de concreto;
b) Levantamento dos custos unitários e composição do custo do m³ de cada traço abordado;
c) Análise do índice de R$/MPa, onde levou-se em conta a média das resistências à compressão dos concretos produzidos no LAPATEC (URI Erechim) e na empresa e, também, os custos para a produção de 1 m³ de concreto para cada traço abordado na pesquisa.

#### 3.5.1 Levantamento das quantidades de materiais

A Tab. 2 apresenta a quantidade de materiais necessários para a confecção de 1m³ de concreto, mensurados no Laboratório e Preparo de Amostras e Técnicas Construtivas (LAPATEC) da URI Erechim.

Tabela 2. Quantidade de materiais por traço

| **Quantidade de Materiais (kg/m³)** | | |
|---|---|---|
| **Traço** | **LAPATEC – Com sílica** | **LAPATEC – Sem sílica** |
| Cimento | 288,19 | 320,21 |
| Areia | 800,53 | 800,53 |
| Brita | 1120,74 | 1120,74 |
| Água | 192,13 | 192,13 |
| Aditivo | 0,32 | 0,32 |
| Sílica | 32,02 | - |

#### 3.5.2 Levantamento de custos

A Tab. 3 apresenta os custos unitários de cada material utilizado na confecção dos traços.

Tabela 3. Custos unitários dos materiais

| Insumos | Valores de mercado (R$/kg) |
|---|---|
| Cimento CPV ARI | R$ 0,56 |
| Brita 1 | R$ 0,08 |
| Areia | R$ 0,05 |
| Água | R$ 0,01 |
| Sílica ativa | R$ 1,20 |
| Aditivo | R$ 5,00 |

### 3.5.3 Método de análise do índice de R$/MPa

A análise do índice de R$/MPa se dará de maneira a relacionar os dados obtidos do ensaio de resistência à compressão com o custo para a produção de 1 m³ de concreto para os diferentes traços abordados na pesquisa.

A análise foi feita dividindo-se o custo para a confecção de 1 m³ de concreto para cada tipo de traço, pelo valor médio obtido pelo ensaio de resistência à compressão para cada traço abordado na pesquisa. Esta relação está representada na Eq. 2 abaixo.

$$I = \frac{C}{M} \tag{2}$$

Sendo:

I = Índice de R$/MPa;
C = Custo total para a confecção de 1m³;
M= Média da resistência à compressão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tab. 4 apresenta a nomenclatura usada para simplificar as combinações utilizadas para a pesquisa.

Tabela 4. Custos unitários dos materiais

| Nomenclatura | Combinação | |
|---|---|---|
| | Sílica | Adensamento |
| 1 | 0% | Imersão |
| 2 | 0% | Plataforma |
| 3 | 10% | Imersão |
| 4 | 10% | Plataforma |

### 4.1 Propriedades mecânicas

A Tab. 5 apresenta os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação para os ensaios de resistência à compressão uniaxial, módulo de deformação e dureza superficial para as diferentes combinações.

Tabela 5. Média dos resultados obtidos nos ensaios

| Combinação | Média (MPa) | | | Desvio Padrão (MPa) | | | Coef. De Variação (MPa) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | fc28 (MPa) | Módulo | Dureza | fc28 (MPa) | Módulo | Dureza | fc28 (MPa) | Módulo | Dureza |
| 1 | 32,57 | 32,20 | 41,61 | 1,63 | 4,08 | 2,15 | 5,00 | 12,67 | 5,17 |
| 2 | 31,68 | 34,98 | 44,14 | 2,32 | 1,08 | 1,76 | 7,32 | 3,09 | 3,99 |
| 3 | 30,71 | 30,93 | 39,70 | 2,27 | 0,56 | 0,88 | 7,39 | 1,81 | 2,22 |
| 4 | 28,92 | 29,72 | 36,06 | 1,04 | 2,01 | 1,38 | 3,60 | 6,76 | 3,83 |

Na Tab. 5 nota-se que as médias das resistências para as combinações que tiveram a substituição de 10% da massa de cimento por sílica ativa, apresentaram valores ligeiramente inferiores às combinações que não tiveram substituição alguma. Esse efeito pode ser notado também nos resultados obtidos no ensaio de módulo de deformação e dureza superficial. Isso se deve pelo fato de que a silica ativa, mesmo diminuindo o ganho de resistência do concreto nos primeiros 28 dias de cura – ao contrário do fornecido pelo CPV-ARI –, apresenta uma alta reatividade além dos 28 dias, auxiliando no ganho de resistência ao longo do tempo, no ganho de trabalhabilidade e coesão do concreto, e no aumento da durabilidade.

### 4.2 Análise Quantitativa

Os corpos de prova confeccionados pela forma de adensamento à imersão apresentaram quase que em sua totalidade a presença de bolhas de ar, ou a famosa "bicheira", como é conhecida popularmente, resultando em um acabamento superficial final cheio de falhas e totalmente irregular, o que acarreta na necessidade de correções e consequentemente elevando os custos.

A utilização da plataforma vibratória para adensamento proporcionou melhor homogeneidade para o concreto, ocasionando um aspecto visual final satisfatório em comparação com a utilização da imersão, já que houve uma melhora no acabamento superficial e na homogeneidade da pasta, reduzindo a mão de obra para o acabamento final e, consequentemente, os custos.

O uso da sílica ativa em substituição de 10% na massa do cimento garantiu uma significativa melhora no aspecto visual final, pelo fato de ela tornar a mistura mais coesiva, diminuindo a segregação e aumentando a homogeneidade, viscosidade e coesão interna do concreto.

### 4.3 Análise do índice de R$/MPa

A Fig. 2 apresenta a relação de custos para cada traço produzido.

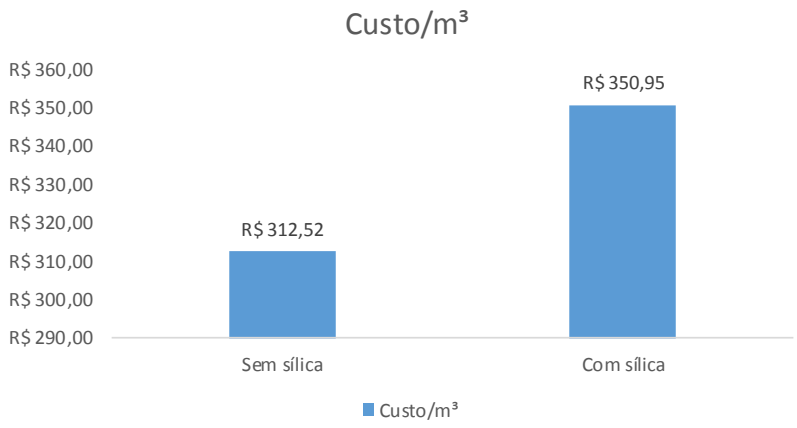



Figura 2. Análise da comparação dos custos para a produção de 1m³ de concreto

Analisando a Fig.2 pode-se notar que o traço que contém sílica ativa na sua composição apontou um maior custo para a sua produção (devido logicamente ao fato de ter o acréscimo da sílica em sua composição), sendo de 10,95% se comparado ao traço sem sílica e de 9,08% se comparado ao traço produzido na empresa.

A Fig. 3 apresenta a relação média das resistências à compressão para cada traço produzido.

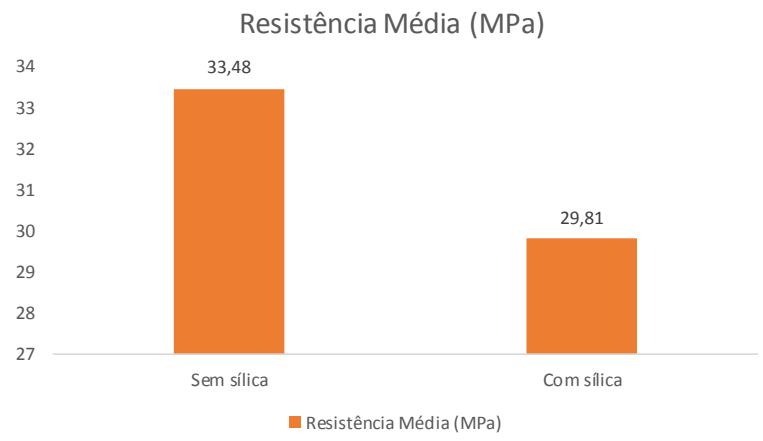



Figura 3. Análise da comparação das resistências médias para cada traço

Analisando a Fig. 3 percebe-se que as resistências dos concretos produzidos no LAPATEC (URI Erechim) atenderam aos objetivos e, também, as normas vigentes. O traço sem sílica apresentou, aos 28 dias, maior resistência média quando comparada ao traço com a presença da sílica ativa, cerca de 10,95% superior, devido ao já exposto anteriormente.

A Fig.4 apresenta a relação do índice de R$/MPa para cada traço produzido.

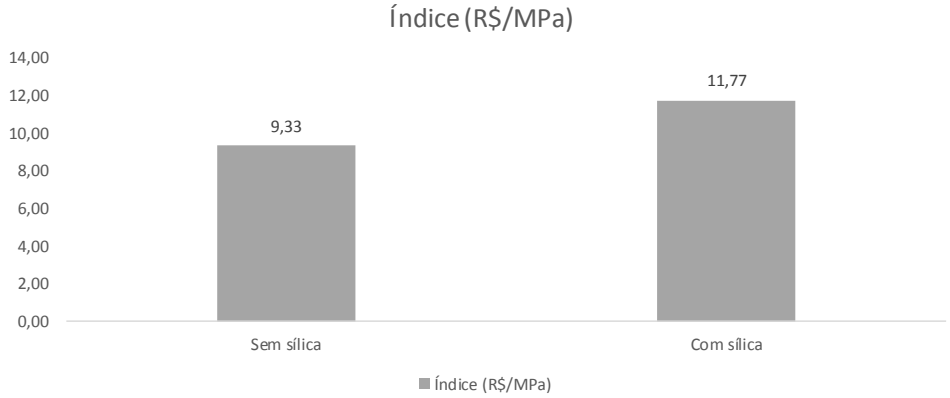



Figura 4. Análise do índice de R$/MPa para cada traço

Para os concretos produzidos no laboratório, o melhor índice, ou seja, aquele que apresentar valor mais perto de 1, foi obtido no traço sem a sílica ativa em sua composição, devido ao fato de ter apresentado o menor custo para a produção de 1m³ de concreto e, também, de ter a resistência à compressão aos 28 dias de cura maior que o traço sem sílica. Em números, o índice do concreto sem sílica ficou em torno de 20% melhor.

Vale ressaltar que, devido a sílica ativa apresentar uma reatividade menos acelerada que o CPV-ARI aos 28 dias, o traço com a combinação sem sílica acabou por apresentar resistência maior e um custo menor pelo fato de não conter tal adição. Salienta-se que tal comportamento deve-se ser alterado com o passar do tempo, resultando para o traço com a presença da sílica ativa uma resistência maior durante a sua vida útil, ocasionando assim, um menor índice de R$/MPa.

## 5. COSIDERAÇÕES FINAIS

A presença da sílica ativa na mistura do concreto apresentou bom desempenho na mistura, aumentando a coesão e homogeneidade, aliada ao adensamento na plataforma vibratória, a qual manifestou excelente resultado no acabamento superficial.

Além de apresentar melhoras na mistura, a sílica ativa contribuiu para a diminuição da porosidade do concreto, aumentando a durabilidade do mesmo ao longo do tempo, o que significa um ganho de valor agregado ao material produzido, principalmente quando se fala em aplicação para pré-moldados.

Ainda, cabe salientar que o adensamento por imersão não mostrou ser muito indicado, principalmente quando o acabamento final é um requisito a ser verificado, onde nesse caso a plataforma vibratória atendeu de forma mais adequada tal requisito, demonstrando um adensamento homogêneo e de qualidade final satisfatório.

Em relação aos custos, apesar de o concreto com sílica ter apresentado um índice de R$/MPa maior que o concreto sem sílica aos 28 dias, a vantagem dessa adição não está apenas na resistência nos primeiros dias de cura, e sim, na durabilidade, qualidade e custo ao material ao longo do tempo, requisito indispensável na qualidade do pré-moldado.

## 6. REFERÊNCIAS

AITCIN, P.C. *Concreto de alto desempenho*. 1ªed. São Paulo: Pini, 2000.

ANDRADE, J.J.O. *Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas do estado de Pernambuco*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. NBR 9062. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____.NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. ABNT, 2015.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. ABNT, 2018.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2014.

_____. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

_____. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON. *Durable Concrete Structures*. CEB Design Guide. Bulletin D'Information. Paris, 2012.

EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FERREIRA, Marcelo de A.; SERRA, Sheyla M.B.; PIGOZZO, B. N. *A Evolução da Indústria da Construção Civil em Função do Uso de Pré-fabricados em Concreto.* I Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado. São Carlos. 2005.

KONCZ, T. *Manual de la constrccion pré-fabricada*. Madrid: Grefol, 1975.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M. *Propriedades do concreto*. 5ºed. São Paulo: Pini, 2015.

NOVAES, C.C. *Diretrizes para Garantia da Qualidade do Projeto na Produção de Edifícios Habitacionais*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996.

SILVA FILHO, L.C.P. *Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1994.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DE MISTURAS DE SOLOS COM DIFERENTES AGREGADOS FINOS PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

**Bruno Szlachta Vininoski**
**Deise Trevizan Pelissaro**
**Mateus Badalotti Santin**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
brunoszla@hotmail.com
deisetrevizan@uricer.edu.br
mateusbsantin@gmail.com

**Resumo:** *O crescimento econômico e populacional do país exige que sejam criadas mais rodovias para facilitar o fluxo de cargas e comunicação entre as regiões do país onde, atualmente, uma pequena parte das rodovias são pavimentadas. O alto custo de exploração e transporte de materiais convencionais são fatores que elevam o custo de bases e sub-bases de pavimentos, por isso soluções economicamente viáveis são indispensáveis para criação e manutenção de rodovias. Nesse sentido, materiais alternativos e de baixo custo retirados em locais próximos das obras de pavimentação se tornam um meio sustentável e viável para a construção de rodovias. O presente trabalho tem como objetivos caracterizar, comparar e avaliar misturas de solo extraído na Rodovia Transbrasiliana, no trajeto Erechim-Passo Fundo, com pó de pedra, areia e areia industrial, afim de determinar a mistura mais apropriada para uso em base e sub-base de pavimento econômico. As misturas foram submetidas a ensaios de laboratório, classificadas pelos métodos SUCS e HBR e posteriormente submetidas aos ensaios de compactação e CBR. Os resultados da classificação HBR mostraram que todas as misturas apresentam comportamento satisfatório para subleito, enquanto que nos ensaios de compactação e CBR apenas a mistura de solo com pó de pedra atendeu aos requisitos para utilização em sub-base.*

**Palavras chave:** *Base. Sub-Base. Materiais Alternativos. Pavimento Econômico.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2017, a extensão da malha rodoviária brasileira era de 1.735.621 km, das quais apenas 12,3% (212.886 km) estavam pavimentadas; 78,6% (1.365.426 km) representavam rodovias não pavimentadas; e 9,1% (157.309 km) estavam planejados. Além disso, dada a extensão territorial do país, tem-se uma baixa densidade de infraestrutura quando comparada a países de proporções semelhantes (CNT, 2018).

A maior parte da produção brasileira é transportada por meio de rodovias, e por ser um país extenso, necessita de muitos reparos e manutenções constantes, configurando assim o sistema mais caro de transporte. Poucos investimentos são feitos devido a crises e falta de recursos financeiros, refletindo em altos custos no transporte rodoviário brasileiro. Dessa forma a escassez de recursos públicos aliada aos altos custos dos materiais usualmente empregados na pavimentação das estradas reforçam a importância do estudo em materiais alternativos em base e sub-base de rodovias de baixo tráfego.

Levando-se em consideração a extensão do território brasileiro, o grande déficit de pavimentos e a pouca disponibilidade de material pétreo em algumas regiões, torna-se imprescindível a utilização de materiais locais. A falta de recursos financeiros associada à necessidade de implantação rápida e em grande escala de rodovias e pavimentos urbanos, levaram à busca de novas alternativas visando uma considerável redução nos custos dos pavimentos (Villibor, 2009).

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como tema a análise da viabilidade de utilização de misturas de solo retirado da rodovia Transbrasiliana no trecho Erechim – Passo Fundo com diferentes agregados finos para construção de pavimento econômico. Foi realizado um comparativo entre diferentes materiais: pó de pedra, areia e areia industrial misturados com solo local para utilização nas camadas de base e sub-base de pavimento econômico, de acordo com os resultados dos ensaios obtidos em laboratório e as metodologias tradicionais.

## 2. PAVIMENTO ECONÔMICO

De acordo com Villibor e Nogami (2009) pavimentos econômicos são caracterizados por:

a) Utilizar bases compostas por solos, que tem custos de execução substancialmente menores que as convencionais, como por exemplo: brita graduada, macadame hidráulico, solo cimento, etc.;

b) Utilizar revestimento betuminoso tipo tratamento superficial, com espessura de não mais que de 3 cm, geralmente, da ordem de 1,5 cm;

c) Considerar o trânsito no máximo do tipo médio, com Nt<106 solicitações do eixo simples padrão de 80 kN (onde Nt é o número de solicitações indicadas no gráfico de deflexões admissíveis em correspondente a deflexão característica de projeto).

A Figura 1 ilustra a seção transversal de um pavimento de baixo custo.

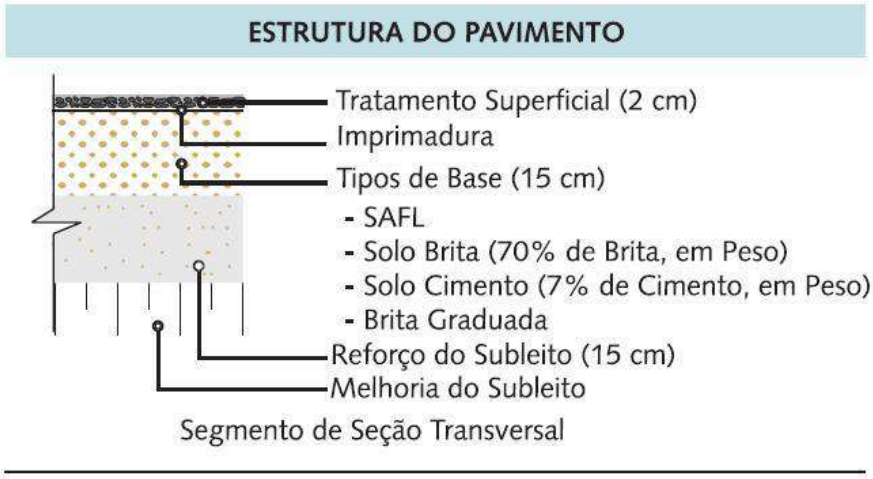



Figura 1. Seção transversal típica de um pavimento rodoviário com base SAFL (Villibor e Nogami, 2009)

Villibor e Nogami (2009) citam como tipos de bases de baixo custo utilizados para pavimentos econômicos, os seguintes:

a) Bases de SAFL (Solos Arenosos Finos Lateriticos), material de ocorrência natural;

b) Bases de Solo Lateritico-Agregado:

a) De granulação fina, designado Solo Argiloso Lateritico e Areia (ALA), cujo material é constituído de mistura de argila laterítica com areia.

b) De granulação grossa, designado SLAD, cujo material é constituído de misturas de solo lateritico com baixa porcentagem de agregado (brita, pedregulho ou laterita).

A Figura 2 ilustra a estrutura de um pavimento usual de rodovia vicinal com 4 alternativas para a base.

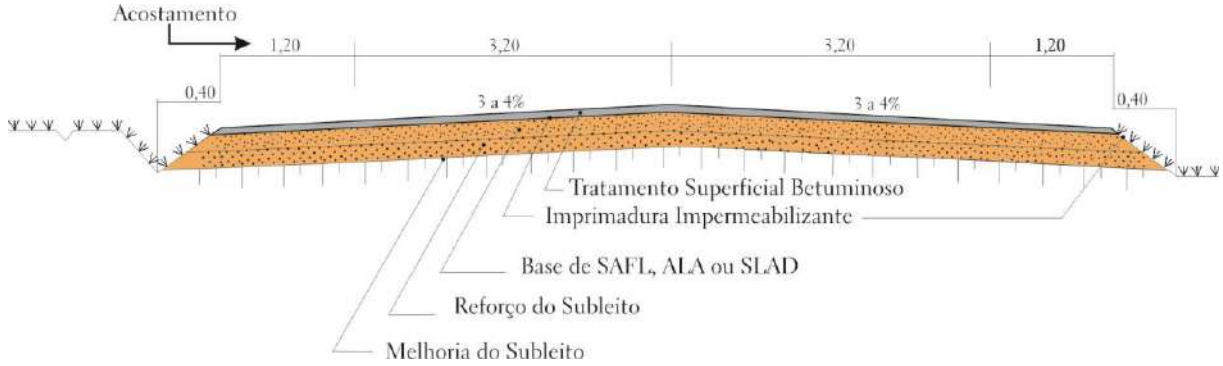



Figura 2. Estrutura de um pavimento econômico (Villibor e Nogami, 2009)

Ainda segundo Villibor e Nogami (2009), além dos benéficos econômicos, há também vantagens ambientais, que estão ligadas ao fato de suas jazidas serem ocorrências naturais, o que permite:

a) Executar um projeto de recuperação da área degradada pela exploração, com métodos que a reestabelece à paisagem existente, além de proporcionar um sistema de drenagem superficial adequado, minimizando os danos ao meio ambiente.

b) Reconstruir a vegetação de sua superfície, por meio de reposição do material orgânico (proveniente da camada vegetal estocada quando da limpeza da jazida), diminuindo o dano ambiental, pelo renascimento rápido da cobertura vegetal.

De acordo com o Bernucci (2006), para os materiais de base, sub-base e reforço do subleito, empregam-se métodos de seleção e de caracterização de propriedades pela metodologia tradicional, relacionado na distribuição granulométrica e na resistência, forma e durabilidade dos grãos. A seleção é uma etapa preliminar que consiste em examinar os materiais disponíveis quanto às características de natureza para serem empregados na estrutura dos pavimentos. Os materiais de pavimentação compactados devem apresentar-se resistentes, pouco deformáveis e com permeabilidade compatível com sua função na estrutura.

Os materiais são basicamente constituídos por agregados, solos e, eventualmente, aditivos como cimento, cal, emulsão asfáltica, entre outros (Bernucci, 2006).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de utilizar matérias alternativos misturados com solo para utilização em bases e sub-bases em pavimentos econômicos. O solo foi extraído da Rodovia Transbrasiliana e foram ensaiadas 4 misturas:

a) In natura;
b) Substituição por 30% de pó de pedra;
c) Substituição por 30% de areia;
d) Substituição por 30% de areia industrial.

O ponto de coleta da amostra de solo na Rodovia Transbrasiliana foi definido no trecho Erechim/RS-Passo Fundo/RS. Depois de realizada a coleta da amostra, foram executados os ensaios de caracterização: Análise granulométrica, Limites de Atterberg, e densidade real dos grãos, para classificar as misturas por meio dos métodos de classificação SUCS e HRB. Após classificação, foram realizados os ensaios de compactação e CBR, visando avaliar o desempenho das propriedades físico-mecânicas das misturas para aplicação em bases e sub-bases de pavimentos econômicos.

## 4. CLASSIFICAÇÃO SUCS E HRB

A classificação SUCS fundamenta-se na identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, agrupando-lhes de acordo com seu comportamento quando usados em estradas, aeroportos, aterros e fundações. Nesse sistema, consideram-se as seguintes características dos solos:

a) Percentagens de pedregulhos, areias e finos (fração que passa na peneira nº200: silte e argila);
b) Forma da curva granulométrica;
c) Plasticidade e Compressibilidade

Conforme o DNIT (2006), as vantagens do emprego do SUCS estão no exercício da identificação de campo, na adoção de uma simbologia que diz da natureza do solo, e no valor pratico das indicações que a classificação proporciona a vários ramos da engenharia de solos.

Segundo o DNIT (2006), o HRB, atualmente chamado de TRB (Transportation Research Board), é um sistema de classificação de solos bastante utilizado em pavimentação, no qual considera-se a granulometria, o limite de liquidez, o índice de liquidez e o índice de grupo. Nesta classificação os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função de sua granulometria, limites de consistência e do índice de grupo.

.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As misturas foram preparadas seguindo a NBR 6457 que prescreve o método para a preparação de amostras de solos para ensaios de compactação e de caracterização (analise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa especifica dos grãos que passam na peneira de 4,8mm e massa específica, massa específica aparente e absorção de agua dos grãos retidos na peneira 4,8mm).

Os Limites de Consistência de Atterberg foram executados conforme a NBR 6459 e 7180, para a determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade respectivamente. Os resultados dos ensaios de limites de liquidez e plasticidade estão apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Limites de Atterberg

| LIMITES DE ATTERBERG | | | |
|---|---|---|---|
| MISTURAS | LL | LP | IP (LL - LP) |
| in natura | 26,8 | 25,19 | 1,61 |
| solo com 30% de pó de pedra | 33,3 | 14,72 | 18,58 |
| solo com 30% de areia | 14,1 | - | 14,1 |
| solo com 30% de areia industrial | 27,4 | 24 | 3,4 |

Observa-se que para o solo in natura e com substituição de 30% por areia industrial, os limites de liquidez e plasticidade apresentam valores bastante próximos o que lhe confere uma característica de um solo pouco plástico. Ao substituir 30% de solo por pó de pedra, observou-se que a mistura passa a apresentar IP característico de solo muito plástico. Para a mistura de 30% de areia com solo não foi possível realizar o limite de plasticidade.

A Análise Granulométrica foi executada conforme a NBR 7181, realizada por uma combinação de sedimentação e peneiramento. Na Figura 3 a seguir estão ilustradas as curvas do ensaio de granulometria por sedimentação e peneiramento das quatro misturas.

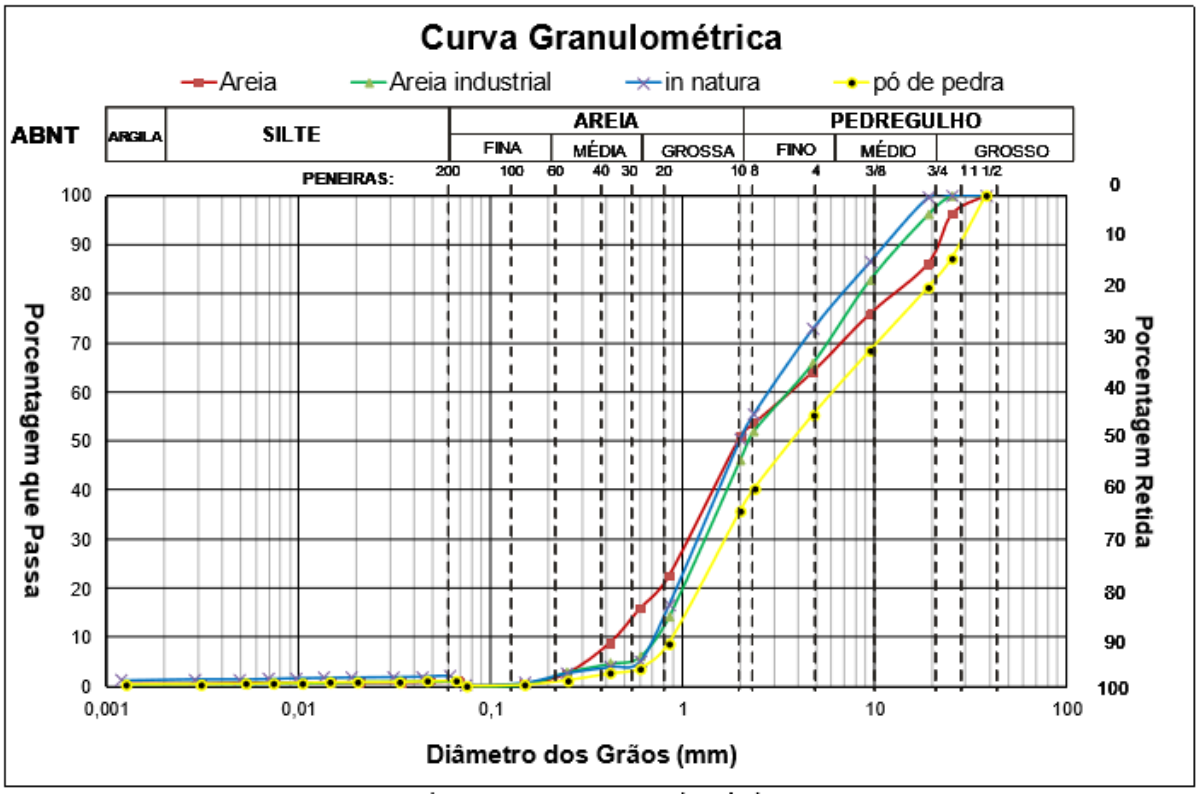



Figura 3. Curva granulométrica das amostras

A Tabela 2 traduz os resultados das curvas numericamente, classificando as misturas por porcentagem de pedregulho, areias, silte e argila de acordo com as peneiras ABNT. Analisando os resultados, observa-se que o solo com 30% de pó de pedra apresenta mais pedregulhos, porém apresenta a menor porcentagem de argila. A mistura de solo com 30% de areia industrial e solo in natura apresenta altas porcentagens de pedregulho e areia grossa. A mistura de solo com 30% de areia apresentou em sua totalidade 50% de areia.

Tabela 2. Granulometria em percentagem das amostras

| GRANULOMETRIA (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mistura | Argila | Silte | Areia | | | Pedregulho |
| | | | Fina | Media | Grossa | |
| Solo com 30% pó de pedra | 0 | 1 | 0 | 3 | 32 | 64 |
| Solo com 30% de areia industrial | 1 | 0 | 1 | 4 | 40 | 54 |
| Solo com 30% de areia | 1 | 0 | 1 | 14 | 35 | 49 |
| In natura | 1 | 1 | 0 | 3 | 45 | 50 |

As misturas foram classificadas pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e pela Classificação Rodoviária H.R.B. (AASHTO), como ilustra a Tabela 3 a seguir.

De acordo com a classificação SUCS, as misturas utilizadas na pesquisa são solos SW, que são solos que apresentam na sua constituição areia bem graduada ou areias pedregulhadas, com pouco ou nenhum fino, devido as suas granulações ficarem retidas menos de 50% na peneira de nº 200, e passar mais de 50% na peneira de nº 4.

De acordo com a classificação H.R.B., classificou-se as misturas de solo com pó de pedra, e solo com areia como um A-2-6, e o solo in natura e a mistura de solo com areia industrial como um A-2-4, todas as misturas foram classificadas com constituintes de materiais granulares por ter 35% ou menos passando na peneira de n° 200. Todas as misturas apresentaram comportamento excelente a bom para subleito.

Tabela 3 - Classificação SUCS e HRB das amostras

| CLASSIFICAÇÃO | | |
|---|---|---|
| MISTURAS | SUCS | HRB |
| in natura | SW | A-2-6 |
| solo com 30% de pó de pedra | SW | A-2-6 |
| solo com de 30% areia | SW | A-2-4 |
| solo com 30% de areia industrial | SW | A-2-4 |

O ensaio de compactação das misturas foi realizado conforme a NBR 7182, a qual prescreve o método para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados, de acordo com os processos especificados. Para o estudo utilizou-se a energia intermediária de compactação e na Tabela 4 são apresentados os pesos específicos aparentes máximos e a umidade ótima em porcentagem.

Tabela 4. Resultado dos ensaios de compactação

| Mistura | Umidade ótima (%) | Peso específico Aparente Seco (g/cm²) |
|---|---|---|
| in natura | 20% | 1,613 |
| solo com 30% pó de pedra | 16% | 1,824 |
| solo com 30% areia | 18% | 1,775 |
| solo com 30% areia industrial | 25% | 1,617 |

A Figura 4 ilustra as curvas de compactação de todas as quatro misturas, delas foram retirados os dados apresentados na tabela anterior.

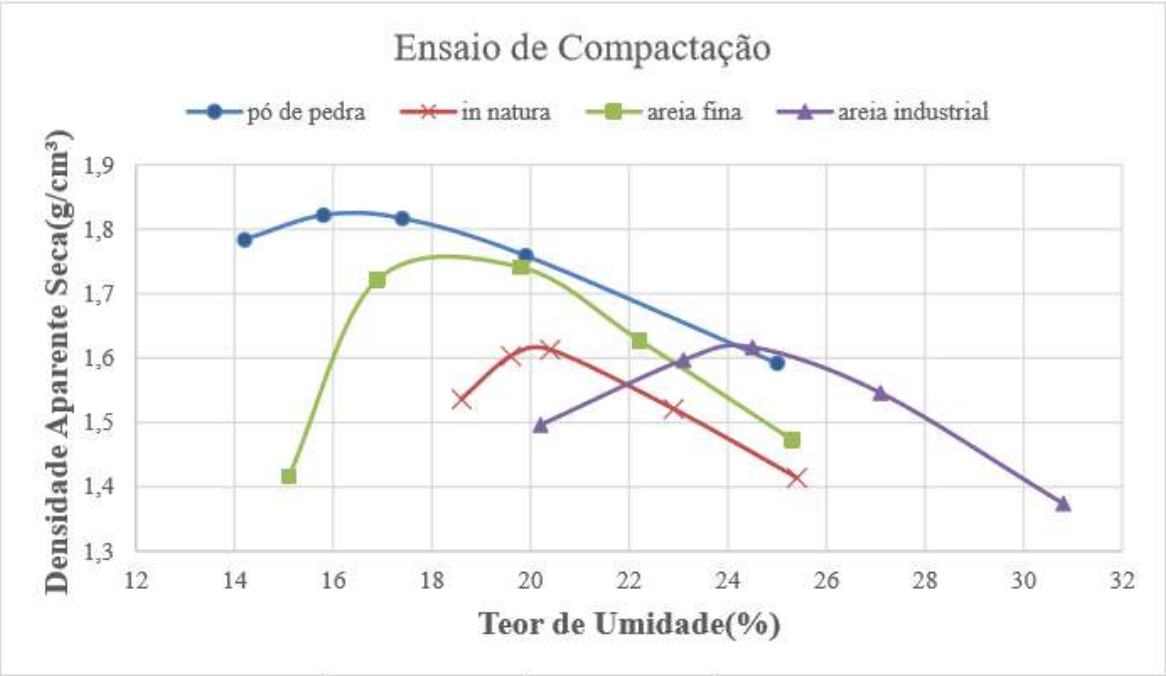



Figura 4. Curvas de compactação das amostras

Conforme pode ser observado na Figura 4, a mistura com areia industrial praticamente não alterou a densidade aparente seca, havendo alterações apenas em termos de umidade. Já as misturas com pó de pedra e areia apresentaram um aumento na densidade aparente seca associado a diminuição da umidade ótima.

Por fim, com base na NBR 9895, realizou-se o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), conhecido também como CBR. O mesmo foi realizado com os corpos de prova em umidade ótima, para as quatro misturas na energia intermediária. Os resultados estão apresentados na Figura 5 a seguir.

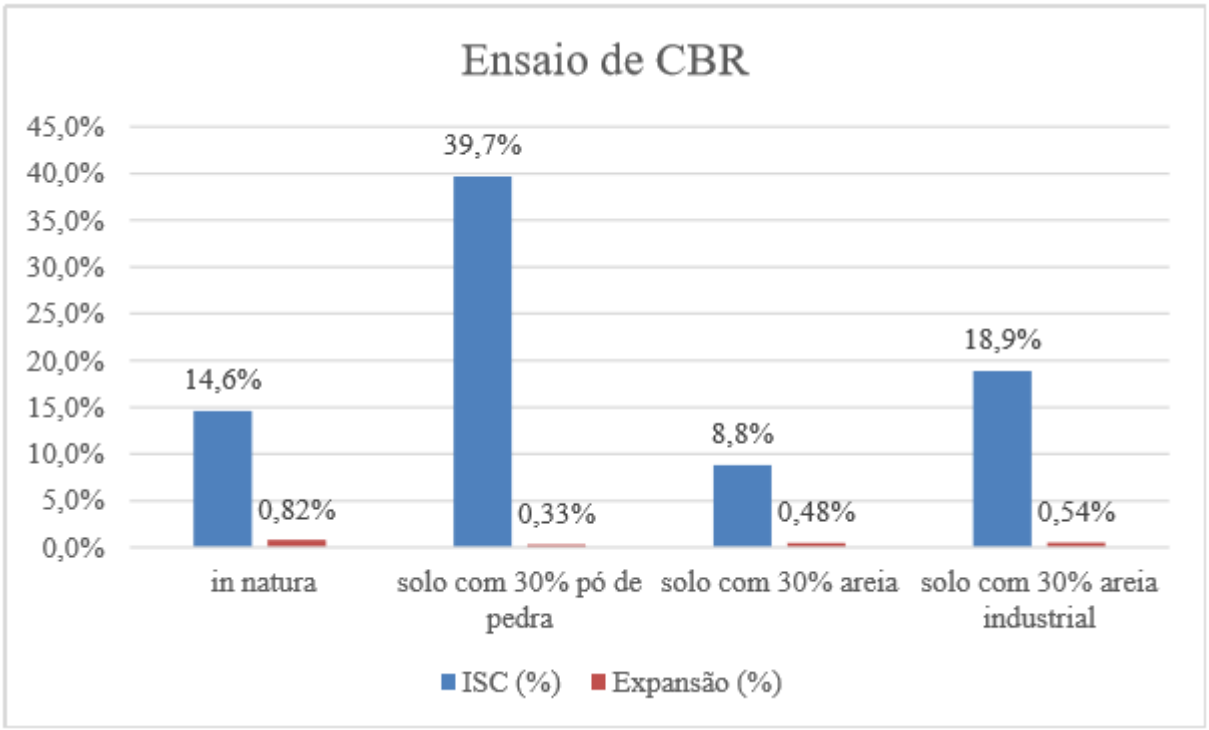


Figura 5. CBR das Amostras

Conforme pode ser observado na Figura 5, apenas a mistura de solo com pó de pedra apresentou aumento significativo em relação as demais, além de ter apresentado a menor expansão.

## 6. CONCLUSÕES

Em relação a granulometria, todas as misturas apresentaram curvas semelhantes, apenas a mistura com pó de pedra apresentou mais pedregulhos, correspondente a 65% de sua composição, e maior índice de plasticidade igual a 18,58. Todas as misturas apresentaram uma granulometria satisfatória para emprego para subleitos.

A mistura de solo com 30% de pó de pedra foi a que apresentou o maior CBR, correspondente a 39,7%, e a menor expansão, correspondente a 0,33%.

De acordo com DNIT (2006, p. 142), para utilizar materiais de subleito precisa-se apresentar um CBR ≥ 2% e uma expansão ≤ 2%; materiais de reforço do subleito devem apresentar valores de CBR maior que o do subleito e uma expansão ≤ 1%; para sub-bases de pavimentos, os valores de CBR necessitam ser ≥ 20%, tendo uma expansão ≤ 1% e resultados de IG=0; já para bases o CBR tem que apresentar valores iguais ou acima de 60 a 80% dependendo do volume de tráfego e ter uma expansão ≤ 0,5%.

A mistura de solo com 30% de pó de pedra, foi a mistura que obteve menor umidade ótima, correspondente a 16%, e maior peso específico aparente seco, correspondente a 1,824 g/cm². Por essas características, e por apresentar CBR no valor de 39,7%, e expansão no valor de 0,33%, a mistura de solo com 30% de pó de pedra é a única que pode ser utilizada para sub-base.

A adição de matérias alternativos, como pó de pedra, areia e areia industrial não provocou alterações significativas na granulometria do solo in natura. Sendo assim, em locais em que o problema se configura de solo, uma solução alternativa seria a substituição parcial por estes materiais, desde que utilizados na camada de subleito.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro,1986.9p.

_____. NBR 6459: solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro,1984. 6p.

_____. NBR 7180: solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

_____. NBR 7181: solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

_____. NBR 7182: solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

_____. NBR 9895: solo – índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987. 14 p.

Bernucci, L.B. et al., 2006. *Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 504p.

Confederação Nacional de Transportes. 2018. *Rodovias Esquecidas do Brasil*. Brasília.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2006. *Manual de Pavimentação*. 3. ed. Rio de Janeiro, 274 p.

Villibor, D.F.; Nogami, J.S., 2009. *Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos.* São Paulo: Arte & Ciência, 292 p. il.

Villibor, D.F. et al. 2009., *Pavimentos de baixo custo para vias urbanas*. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 196 p.

Cortes, D.D., Kim, H.K., et al., 2008. *Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands*. Cementand Concrete Research, v. 38, p. 1142-1147.

## 8. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DE MISTURAS DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE JACUTINGA-RS COM AREIA DE FUNDIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS

**Nathan Pedott Lansana**
**Mateus Badalotti Santin**
**Deise Trevizan Pelissaro**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
deisetrevizan@uricer.edu.br
mateusbsantin@gmail.com
natan_coto10040hotmail.com

***Resumo:*** *O aumento no descarte de rejeitos sólidos, bem como os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais, vem impulsionando os estudos sobre o aproveitamento desses resíduos como novos materiais, reduzindo o seu impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais. Tendo em vista que o setor de transportes ainda é extremamente carente quando se trata de pavimentação asfáltica, uma boa alternativa para a pavimentação é a adição de areia descartada de fundição (ADF) na mistura de bases e sub-bases em pavimentos de baixo custo. O trabalho buscou caracterizar, avaliar e comparar os resultados em misturas de solo provenientes do município de Jacutinga-RS com ADF. Foram utilizadas misturas com substituição de 40%, 50% e 60% e foram realizados ensaios de compactação e CBR, índice de plasticidade, limite de liquidez, granulometria e sedimentação e classificação pelos métodos SUCS e HRB. Os resultados mostraram que não é possível utilizar estas misturas em bases, porém o solo natural e as misturas de 50% e 60% de ADF podem ser utilizadas como subleito, reforço de subleito e sub bases de pavimentos de baixo custo.*

***Palavras chave:*** *Areia Descartada de Fundição. Misturas de Solo. Pavimentos de Baixo Custo.*

## 1. INTRODUÇÃO

A implantação de referências de produção mais limpas em procedimentos industriais tem sido, do mesmo modo, um importante elemento na minimização dos resíduos gerados, como tem tornado possível uma participação dos centros de pesquisa na solução e no resultado dos problemas e na identificação de matérias-primas secundárias, a fim de obter o desenvolvimento de materiais (Rocha e Cheiraf, 2003).

O aumento no descarte de rejeitos sólidos, bem como os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais, vem impulsionando os estudos sobre o aproveitamento desses resíduos como novos materiais, reduzindo o seu impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais quanto ao aproveitamento de resíduos como materiais de construção (Rocha e Cheiraf, 2003).

O setor de fundição apesar de consumir sucatas metálicas como matéria-prima, produz grandes volumes de resíduos sólidos. Os resíduos são constituídos basicamente de escórias, poeiras diversas e areia descartada, entre outros (BIOLO, 2005). A areia descartada corresponde ao maior volume de resíduos gerados pela indústria da fundição, e apresenta características quantitativas e qualitativas diferenciadas, em função dos tipos de tecnologias de processos utilizados. (Biolo, 2003).

A areia de fundição, que é utilizada para a confecção dos moldes de peças metálicas, classifica-se pela legislação brasileira (NBR 10004 – ABNT, 2004) como um resíduo não perigoso. Entretanto, dependendo de cada situação em particular, pode apresentar poluentes tais como, metais (ferro, alumínio, níquel, cromo, chumbo, zinco, etc.) e resinas fenólicas de acordo com o processo de moldagem/macharia utilizado. O volume desses excedentes, somado ao fato de que ele pode não ser totalmente inerte, faz com que afete adversamente o ambiente se destinado ou manuseado de forma inadequada. (NBR, 2004). Do ponto de vista ambiental, o problema principal com este tipo de resíduo está relacionado à sua deposição irregular e aos grandes volumes produzidos. A deposição irregular do resíduo é muito comum em todo o mundo (Czedrowski, 2016).

Neste contexto o tema principal deste trabalho consiste na análise de utilização de misturas de solo provenientes do município de Jacutinga-RS com areia descartada de fundição (ADF) para a construção de pavimentos econômicos.

### 1.1 Pavimentos econômicos ou de baixo custo

Um pavimento é considerado econômico ou de baixo custo quando:

a) Utiliza bases compostas de solos locais *in natura*, ou em misturas, com custos substancialmente inferiores as bases convencionais tais como: brita graduada, solo-cimento, macadame hidráulico ou macadame betuminoso (Villibor e Nogami, 2009);

b) Utiliza revestimento betuminoso esbelto do tipo tratamento superficial ou concreto betuminoso usinado a quente, com espessura de no máximo 3cm (Villibor e Nogami, 2009);

c) É dimensionado para atender os tráfegos:

Urbano, de muito leve a leve, de acordo com a classificação da via;

Rodoviário, com Volume Diário Médio (VDM) inferior a 1500 veículos, com no máximo 30% de veículos comerciais (Bragato et al, 2017).

### 1.2 Tipos de areia

As areias têm um amplo uso nas fundições, não só na fabricação de moldes para o vazamento do metal, mas como também dar a forma ao metal. São utilizadas por diversas características dentre elas se destaca por ser considerada de baixo custo, por conter alta capacidade refratária, facilmente aglutinável quando misturados com argila, compostos aditivos orgânicos e inorgânicos (Lima, 2014).

Segundo Bonet (2002), classificam-se segundo os critérios de constituição, como origem, uso, emprego na caixa de fundição e a qualidade do metal. Quanto à origem, as areias podem ser: Areias naturais, que são originadas de arenitos de cimento argiloso ou de alteração de rochas feldspáticas (saibros), são usadas diretamente na moldagem, sofrendo uma correção na umidade. Areias semi-sintéticas, que são resultantes das modificações introduzidas nas areias naturais, por meio de adição de substâncias visando melhorar suas qualidades. Areias Sintéticas, que são obtidas pela mistura correta da areia-base e aglomerantes em proporção adequada e umidade determinada.

Quanto ao uso podem ser classificadas em: (a) areia nova quando utilizada pela primeira vez na fundição; (b) areia usada quando recuperada de fundições anteriores. Já, quanto ao emprego na caixa de fundição, podem ser: (a) areia de faceamento é a parte da areia que faceia o modelo e entra em contato com o metal de vazamento; (b) areia de enchimento: parte da areia que constitui o restante da caixa de moldagem e (c) areia de macho: aquela destinada ao preparo dos machos, conformadores das cavidades internas das peças (Bonet, 2002).

Quanto ao estado de umidade da areia, podem ser: (a) areia úmida ou verde as que mantém no momento do vazamento, aproximadamente a mesma umidade do preparo ou (b) areia estufada que possui composição adequada para macho e moldes e que sofrem cozimento em estufa antes do vazamento (Bonet, 2002).

Quanto à qualidade do metal, podem ser: (a) areias para metais ferrosos (ferro de fundido cinzento, maleável e aço) ou (b) areia para metais não ferrosos como bronze e latão, cobre e níquel, alumínio e magnésio (Lima, 2004).

As areias de moldagem são constituídas essencialmente de um elemento granular refratário (areia base) e um elemento aglomerante mineral (argila bentonita ou caulinita), água e aditivos (pó de carvão, amido de milho, dextrina) (Lima, 2014).

O método de moldagem mais utilizado em todo mundo para a produção de peças fundidas é a moldagem em areia; estimando-se que mais de 80% das peças fundidas produzidas utilizam moldes feitos de areia aglomerada, sendo as areias aglomeradas com argila, em geral, as mais empregadas para confeccionar os moldes (Lima, 2014).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de solo foram obtidas na rodovia não pavimetada que liga o município de Jacutinga/RS a Ponte Preta/RS nas coordenadas 27°43’05,13’’S 52°31’49,05’’O. Depois de recolhidas as amostras, foram executados os ensaios para a classificação dos solos por meio da análise granulométrica, Limites de Atterberg, densidade real dos grãos e classificação pelos métodos SUCS e HRB. Por fim foram realizados os ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia.

Com relação as misturas utilizou-se os seguintes teores de substituição de areia de fundição:

(a) Solo natural
(b) Solo natural + 40% ADF
(c) Solo natural + 50% ADF
(d) Solo natural + 60% ADF

Os teores de substituição de areia descartada de fundição acima citados foram determinados pelo fato de que em alguns trabalhos já realizados e com teores de substituição menores, foram encontrados resultados significativos. Por este motivo, para a realização deste trabalho buscou-se avaliar a utilização de ADF em percentuais maiores dos apresentados pela literatura.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Limites de Atterberg

Os ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), foram realizados seguindo os critérios da NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016) respectivamente. A Tabela 1 a seguir e apresenta um resumo dos resultados obtidos para cada uma das misturas.

Tabela 1. Resultados dos limites de liquidez e plasticidade

| LIMITES DE ATTERBERG | | | |
|---|---|---|---|
| **Misturas** | **LL** | **LP** | **IP(LL-LP)** |
| 100% solo | 30 | 25,51 | 4,49 |
| Solo + 40% ADF | 17,3 | - | 17,3 |
| Solo + 50% ADF | 16,6 | - | 16,6 |
| Solo + 60% ADF | 17 | - | 17 |

Apenas com a amostra de solo natural foi possível a realização do ensaio de limite de plasticidade. Nas amostras com 40%, 50% e 60% de ADF, foi constatado que não é possível realizar este ensaio como ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Amostra com 40% de ADF

### 3.2 Análise Granulométrica

A NBR 7181 prescreve o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. Com relação a composição granulométrica por peneiramento são apresentadas na Tabela 2 as composições granulométricas e na Figura 2 as respectivas curvas granulométricas para o solo in natura e para os teores de substituição de 40%, 50% e 60% de ADF.

Tabela 2. Composição granulométrica

| Composição Granulométrica ( % ) ( Escala ABNT ) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mistura** | **Argila** | **Silte** | **Areia** | | | **Pedregulho** |
| | | | **Fina** | **Média** | **Grossa** | |
| Solo Natural | 1 | 1 | 0 | 3 | 40 | 56 |
| Solo + 40% ADF | 0 | 1 | 0 | 36 | 44 | 19 |
| Solo + 50% ADF | 0 | 1 | 0 | 26 | 37 | 36 |
| Solo + 60% ADF | 0 | 1 | 0 | 36 | 44 | 19 |

Observa-se que o solo natural apresenta a maior quantidade de pedregulhos e argila. As outras amostras apresentaram resultados similares em termos de areia média e grossa. Além disso, todas as amostras apresentam a mesma porcentagem de silte.

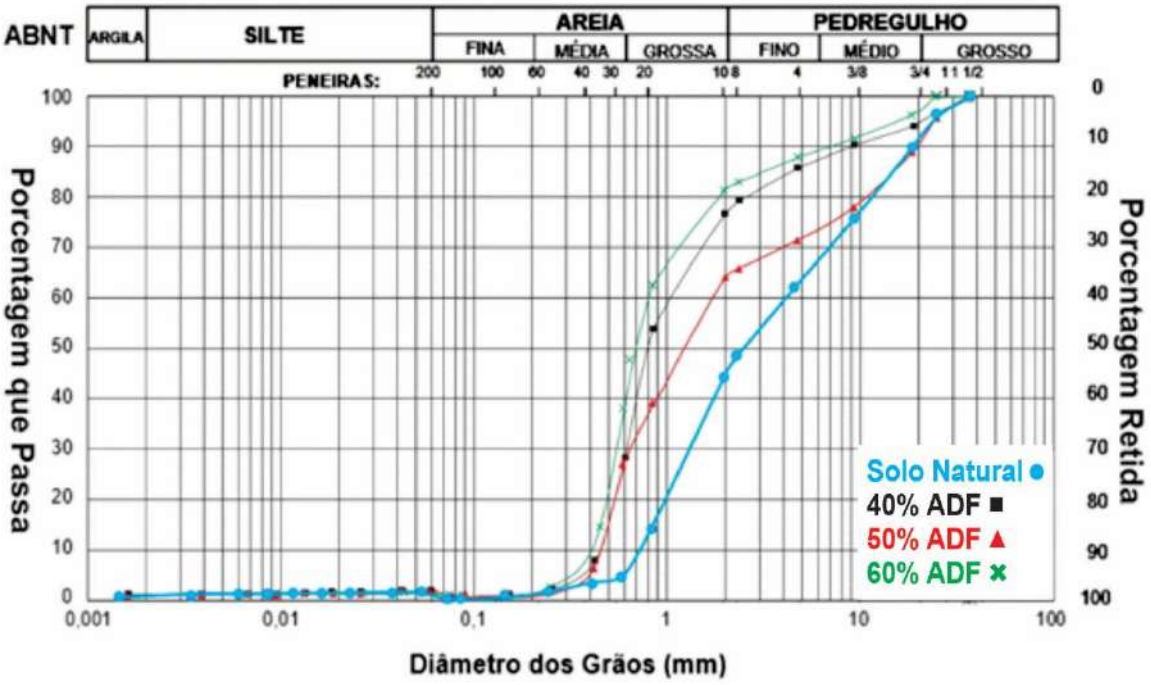



Figura 2. Curva granulométrica do solo natural e misturas

### 3.3 Classificação das misturas

Segundo a classificação SUCS, todas as misturas utilizadas na pesquisa classificam-se como SW. Este tipo de solo apresenta em sua constituição areia bem graduada ou areias pedregulhosas com baixíssima quantidade de finos, devido a sua granulação ficar retido menos de 50% na peneira de número 200, passar mais de 50% na peneira de número 4 e a porcentagem que passa na peneira de número 200 é menor que 5.

Segundo a classificação *Highway Research Board* (HRB), as misturas tiveram os seguintes resultados: solo natural com a classificação A-1-a e as misturas de 40%, 50% e 60% de ADF se enquadraram na classificação A-2-6, todas elas sendo classificadas com comportamento de excelente a bom para serem utilizadas como subleito.

### 3.4 Compactação

A NBR 7182 especifica o método para a determinação da relação entre o teor de umidade e a massa especifica aparente seca dos solos, quando compactados, de acordo com os procedimentos específicos. A Tabela 3 apresenta os pesos específicos aparentes máximos e a umidade ótima em porcentagem para o solo natural e as misturas de 40%, 50% e 60% de ADF. Na Figura 3 são apresentadas as curvas de compactação das quais foram obtidos os dados da Tabela 3.

Tabela 3. Teor de umidade e peso específico

| MISTURA | UMIDADE ÓTIMA (%) | PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO (g/cm³) |
|---|---|---|
| Solo Natural | 13,5 | 1,7784 |
| 40% ADF | 17,4 | 1,825 |
| 50% ADF | 15 | 2,251 |
| 60% ADF | 12,2 | 1,925 |

Nota-se que a amostra de 50% ADF obteve a maior densidade aparente seca, já a maior umidade ótima ficou para a amostra de 40% ADF.

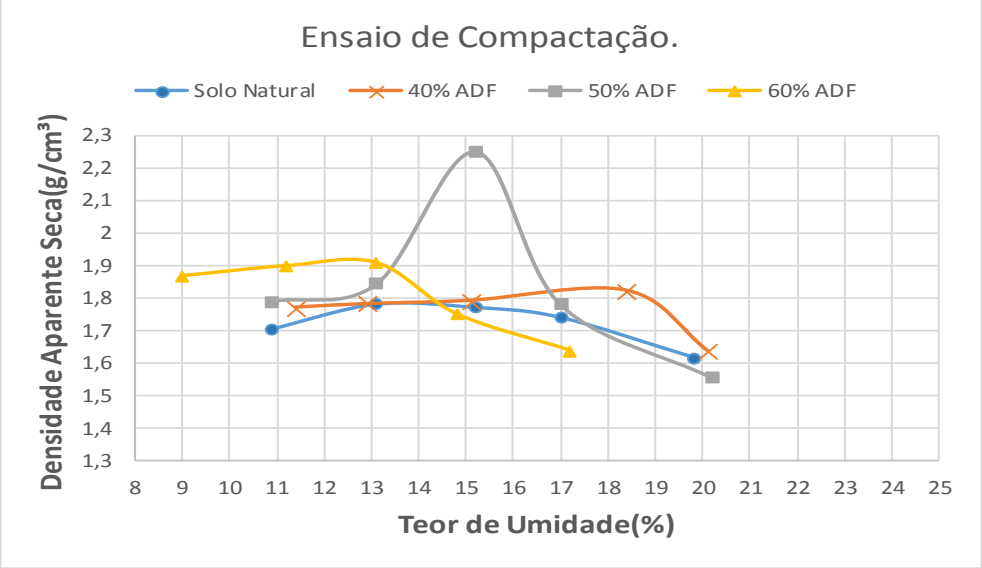



Figura 3. Curvas de compactação

### 3.1 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

A NBR 9895 prescreve o método para determinar o valor do Índice Superte Califórnia e da expansão dos solos em laboratório, utilizando amostras deformadas, não reusadas, de material que passa na peneira 19mm, com no mínimo 5 corpos de prova. Tem o objetivo de estimar a resistência de um solo compactado para uso em bases, sub-bases e subleitos e pode ser utilizada as energias normal, intermediária e modificada, respectivamente aplicando 12, 26 e 55 golpes por camadas, e seus resultados estão apresentados na Figura 4.

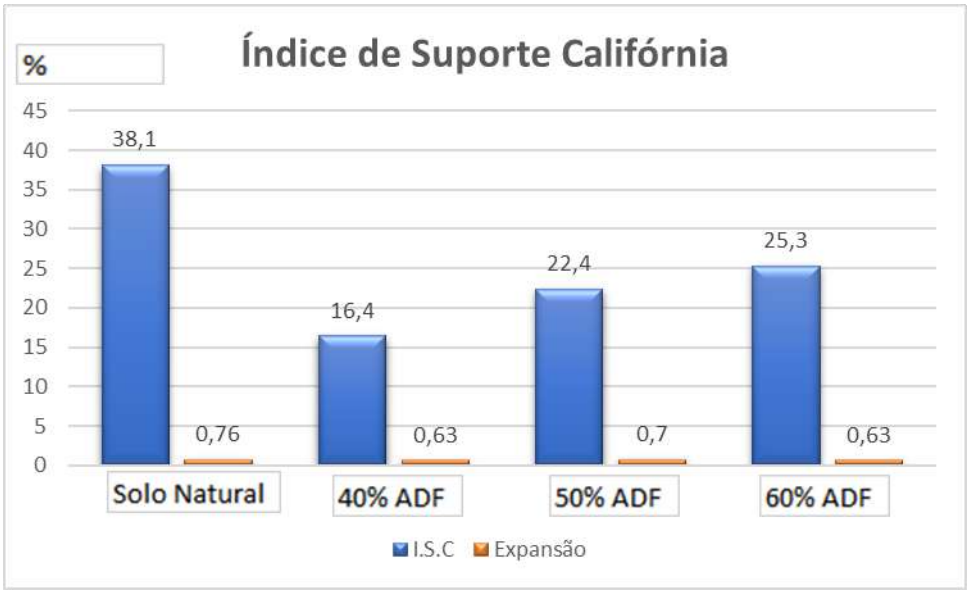



Figura 4. ISC das amostras e Expansão

Ao analisar a Figura 4, constata-se que apenas no ensaio ISC o solo natural teve um grande aumento se comparado aos outros, já a mistura de 40% de ADF teve o menor I.S.C. As amostras de 50% e 60% tiveram resultados aproximados e em relação aos resultados de expansão todas as misturas apresentaram resultados semelhantes.

## 4. CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho, foi avaliar se a utilização de areia descartada de fundição misturada com solos da cidade de Jacutinga-RS é uma boa alternativa para a utilização em bases e sub bases de pavimentos econômicos.

Nos ensaios de granulometria, o solo natural obteve a maior porcentagem de pedregulhos e argila, também foi o único possível a realizar o ensaio de plasticidade. A amostra de solo natural teve a maior porcentagem no ensaio de ISC, 38,1% e todas amostras tiveram resultados parecidos nos ensaios de expansão.

Segundo o DNIT (2006), para se usar materiais no subleito, deve-se apresentar um ISC≥2%; materiais de reforço do subleito devem apresentar valores de ISC maior que o do subleito e uma expansão ≤1%; para sub-bases de pavimentos os valores do ISC necessitam ser ≥20%, tendo uma expansão ≤1% e resultados de IG=0, já para bases o ISC tem que apresentar valores iguais ou acima de 60% e 80% dependendo do volume de trafego e ter uma expansão ≤0,5%.

Levando em consideração estas informações, apenas a amostra de solo natural e as misturas de 50% e 60% de ADF podem ser utilizadas para subleito, reforço de subleito e sub base, já a amostra de 40% de ADF pode ser utilizada para subleito e reforço de subleito. Desta forma conclui-se que apenas três misturas podem ser utilizadas com sub base, e nenhuma das misturas atende aos critérios mínimos do DNIT para serem utilizadas em bases de pavimentos. econômicos.

Portanto, constata-se que o reuso de Areia de Fundição é promissor como material de construção de camadas de pavimentos, o que, certamente, favoreceria o meio ambiente de várias maneiras: evitando-se a disposição inadequada desse resíduo em aterros; evitando-se a exploração desnecessária de recursos naturais.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro,1986.9p

_____. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 9895: Solo – Índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987.

Biolo, S.M. 2005. *Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos*.162 f. Dissertação. (Mestre em Engenharia) – Programa de pós-graduação, Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Biolo, S. M. 2005. *Utilização da areia de fundição na fabricação de blocos cerâmicos. Revista Fundição & Matérias Primas*.

Bonet, I.I. 2002. *Valorização do resíduo areia de fundição (RAF): incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis,

Bragato, G.A., Queiroz, C.L; Uhde, B.T., Zappe, A.P.S. e Wayhs, C.A.P., 2017. *Emprego de solos lateríticos do noroeste do rio grande do sul em pavimentação econômica.* Employment of northwest soils of rio grande do sul in economic pavement.Unijuí,.

Czedrowski, R.C. e Faggion, I.A., 2016. *O reaproveitamento de resíduos sólidos em seus aspectos econômicos e ecológicos*. Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica,

DNIT. 2006. *Manual de Pavimentação. Ministério dos transportes, Departamento nacional de infra-estrutura de transportes, Diretoria de planejamento e pesquisa, Coordenação-geral de estudos e pesquisa, Instituto de pesquisas rodoviárias. Publicação IPR – 719* 3ª Edição. Rio de Janeiro.

Lima, G.T.S., 2014. *Análise de resistência e microestrutura em concretos com substituição parcial de areia natural por areia de fundição*. Ijuí

Rocha, J.C. e Cheriaf, M. 2003 *Aproveitamento de resídauos na construção. Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*.

Villibor, D.F. e Nogami, J. S. *Pavimentos de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Villibor, 1995. 213 p.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO EM PASTAS DE CIMENTO

**Milene Regina Badalotti**
**Mariana Zucchi Vargas**
**Beatriz Schimelfenig**
**Cristina Vitorino da Silva**
**URI Erechim, RS 331, N° 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil, CEP 99700-000.**
**milene.badalotti@hotmail.com, marianazv03@gmail.com, biaschimel@hotmail.com, cristina@uricer.edu.br**

**Resumo:** *A construção civil é um dos setores mais importantes para a economia do país. Entretanto, esse setor gera grandes impactos ambientais, como o desperdício de materiais, entulho e consumo abundante de recursos naturais (água e energia). Para diminuir esses impactos e ajudar a melhorar a qualidade de vida da população, novas pesquisas descobriram que poderiam manipular átomos na escala manométrica através de materiais alotrópicos de carbono e assim surgiram os nanomateriais e o termo nanotecnologia ficou popular. Atualmente, o nanomaterial mais conhecido e estudado é obtido através do grafite, o grafeno. Esse material possui uma estrutura hexagonal bidimensional de moléculas de carbono, apresentando menor densidade, baixa granulometria, maior resistência e durabilidade ao comparar com outros materiais. Com essas propriedades vantajosas, manifestou-se um grande interesse em obter a partir dessa estrutura outros elementos como, o nanotubo de carbono (NTC) e o óxido de grafeno (OG). Segundo investigadores, o óxido de grafeno preenche os poros, dispersa-se facilmente e com apenas a adição de 0,05% de folhas OG melhora a resistência à compressão e resistência à flexão adicionados em pastas de cimento. O objetivo dessa pesquisa é analisar a influência da adição de OG em pastas de cimento, com teores de 0,03% e 0,05%, por meio de ensaios que avaliam a sua resistência à compressão. Os resultados obtidos nos ensaios mostraram que a adição de óxido de grafeno nas pastas cimentícias melhorou a resistência à compressão uniaxial. O teor de adição obteve melhores resultados quando o tempo de dispersão do nanomaterial foi de 30 minutos, apresentando um acréscimo na propriedade de 70,86%.*

***Palavras-chave:*** *Nanomaterial. Óxido de grafeno. Pastas de cimento*.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico de um país, não só pelas características dos seus produtos, mas também pelo grande potencial de empregos diretos e indiretos que produz, entretanto, essa atividade econômica gera grandes danos ambientais. Atualmente, cresce a busca pela sustentabilidade nas edificações, desde métodos construtivos até materiais que ajudam a amenizar ou eliminar os impactos negativos sociais e ambientais (MORAIS, 2012).

A nanotecnologia e a nanociência são um avanço no campo do conhecimento e sua aplicação irá auxiliar no bem-estar das pessoas e também a minimizar os efeitos nocivos ao meio ambiente, são inúmeras as possibilidades da utilização desses nanomateriais a base de carbono, como o grafeno e seu derivado o óxido de grafeno (OG) no campo da indústria da construção civil. Esses materiais funcionalizados são mais resistentes, leves e duráveis, dentre outras vantagens (MORAIS, 2012).

Estudos recentes mostram que a adição de partículas em nanoescala em materiais cimentícios, como pastas, argamassas e concretos podem melhorar significativamente as suas propriedades mecânicas, o controle de sua porosidade (preenchendo mais os vazios) e impedir ou retardar a propagação de fissuras (MORAIS, 2012). Portanto, esse trabalho tem por objetivo mostrar os efeitos da adição de óxido de grafeno em pastas de cimento e também os ensaios que serão realizados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo deste trabalho tem como objetivo de analisar a adição do óxido de grafeno com teores de 0,0%, 0,03% e 0,05% em pastas de cimento verificando a resistência à compressão uniaxial. Os materiais utilizados foram o cimento Portland (CP V-ARI), óxido de grafeno, aditivo superplastificante e água. O óxido de grafeno será fornecido pelo centro de tecnologia em nanomateriais (CTNANO) que fica localizado na cidade de Belo Horizonte do estado de Minas Gerais.

## 3. DOSAGEM E ESCOLHA DO TRAÇO

As dosagens se basearam no trabalho de Pan *et al.* (2015), onde a relação água/cimento (a/c) fixada em 0,5 e o aditivo superplastificante em 0,3% em relação à massa de cimento. A quantidade de cimento foi determinada conforme a quantidade de corpos de prova necessários para esses ensaios, portanto foram utilizados 3600 g de cimento Portland (CPV-ARI). A escolha dos teores foram conforme o trabalho de Lv *et al.* (2013), sendo fixados em 0%; 0,03% e 0,05%, em adição à massa de cimento, pois esses teores dispersaram-se melhor na matriz cimentícia e apresentaram melhores resultados nos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão, comparados a outros trabalhos.

## 4. DISPERSÃO DE OG

Segundo Chuah (2014), o método de dispersão mais utilizado e eficiente para os nanomateriais em solução aquosa é a sonicação, pois transmite energia de excitação para "quebrar" o nanomaterial.
O tempo de dispersão do óxido de grafeno pelo método de sonicação foi de 10 minutos. Também, para verificar se esse tempo de dispersão influencia nos resultados, utilizou-se 30 minutos. Após a dispersão do nanomaterial, misturou-se tudo com o aditivo, o cimento Portland e a água em uma batedeira planetária industrial por 5 minutos, conforme a figura 1.



Figura 1. Método de sonicação e batedeira industrial

## 5. MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

As moldagens foram realizadas de acordo com a norma brasileira NBR 13279 (ABNT, 2005). Todos os moldes, possuíram formato prismático com dimensões de 4x4x16 cm (largura x comprimento x altura).Conforme a norma brasileira NBR 13279 (ABNT, 2005), após realizar as moldagens, os cp's foram adensados em uma mesa manualmente, então, segundo os autores Lv *et al.* (2013) e Pan *et al.* (2015) foram cobertos por um filme de polietileno para evitar a perda de água da amostra e colocados em uma câmara climatizada com uma temperatura de (23 ±2°C) e umidade relativa do ar de (75 ±5%) por 48 horas. Para realizar o procedimento de cura, os corpos de prova ficaram submersos em um recipiente com água e cal hidratada (CHIII) por 28 dias, em um local protegido de intempéries. E para realizar o ensaio de absorção capilar, as amostras foram secas por 24 horas, conforme a figura 2.



Figura 2. Adensamento na mesa, procedimento de cura

## 6. ENSAIOS

O ensaio de resistência à compressão uniaxial foi realizado no Laboratório de Preparo de Amostras e Técnicas Construtivas (LAPATEC), da URI Campus Erechim, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), onde serão utilizadas as metades dos corpos de prova do ensaio de resistência à tração na flexão e ensaiados aos 28 dias, conforme a figura 3.



Figura 3. Ensaio de resistência à compressão uniaxial

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são referentes ao ensaio de resistência a compressão uniaxial. Os dados referentes a esse ensaio foram tratados inicialmente de modo a eliminar os dados espúrios. Decorrente, se fez a análise de todos esses dados pelo método da análise de variância (ANOVA), com o auxílio do *software* Statística. Este *software* forneceu o nível de significância (p) do fator controlável sobre a variável de resposta, considerando um intervalo de confiança de 95%.

### 7.1 CARACTERIZAÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO (OG)

Para a caracterização do óxido de grafeno foram realizados pelo Centro Tecnológico em nanomateriais (CTNANO) os métodos de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e microscopia de força atômica (MFA), conforme as figuras 4 e 5, respectivamente.

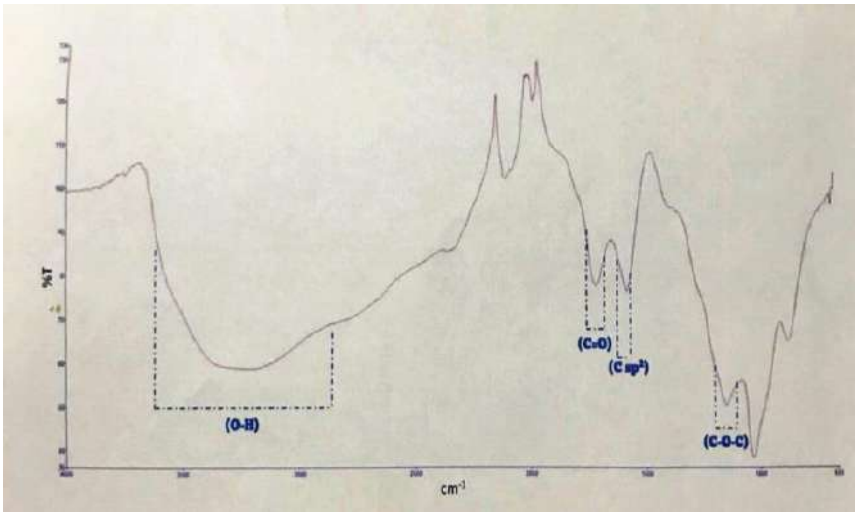



Figura 4**.** Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

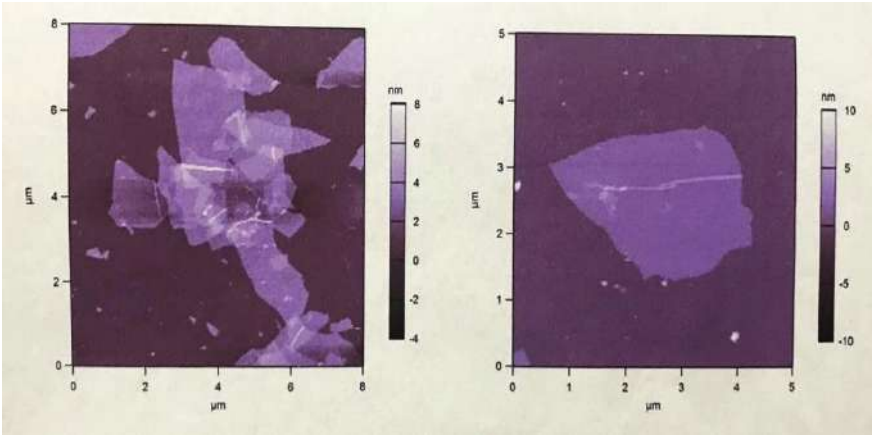



Figura 5. Microscopia de força atômica (MFA)

Através do método de Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), é possível observar os grupos funcionais presentes na estrutura do óxido de grafeno. A região do espectro eletromagnético de maior interesse para essa técnica se encontra entre 4000 a 400 cm-¹. Analisando a figura 4 o grupo funcional hidroxila (O-H) e ligações com o carbono são os mais presentes na estrutura de OG. Os grupos com ligações com carbono que aparecem são o monóxido de carbono com ligação dupla, (C=O), carbono com uma ligação dupla e duas ligações simples (Csp²) e Éter (C-O-C).

A figura 5 mostra a superfície do óxido de grafeno em forma de solução aquosa através de imagens em escala nanométrica pelo método de microscopia de força atômica (MFA), portanto a CTNANO determinou que as dimensões laterais desse nanomaterial são de 5 µm (micrômetros).

### 7.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). A figura 6 mostra os valores médios de Rc em relação aos teores de adição e a figura 7 gerado por meio da análise de variância (ANOVA), mostra os resultados de Rc em relação aos tempos de dispersão.

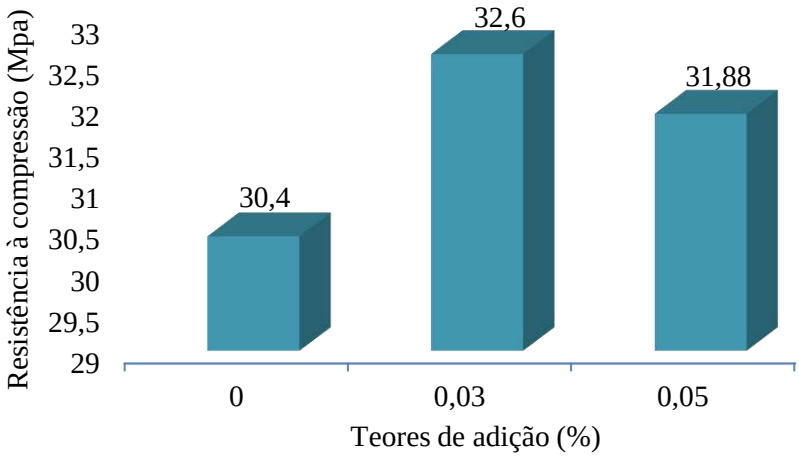



Figura 6. Tendência de comportamento do teor de adição de OG na resistência à compressão

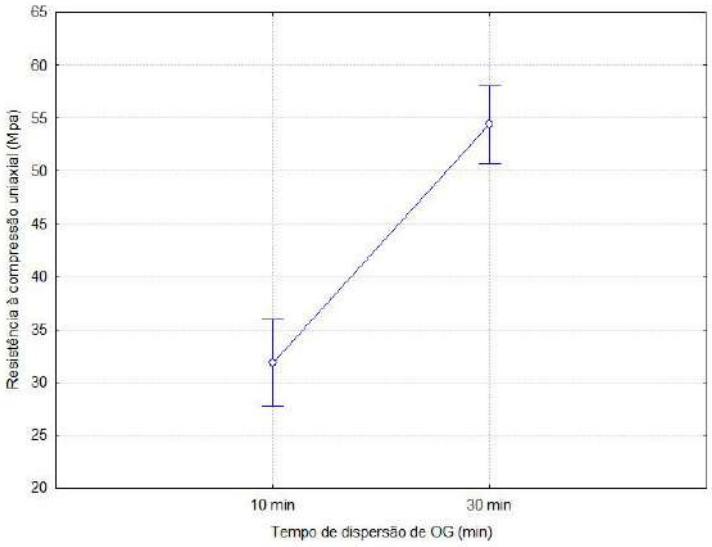



Figura 7. Efeito isolado do tempo de dispersão na resistência à compressão

A figura 6 apresenta apenas uma tendência de comportamento do efeito do teor de adição do OG na resistência à compressão. Cabe salientar que para os teores de óxido de grafeno 0,03% e 0,05% dispersados pelo método de sonicação por 10 minutos não foi verificado efeito estatístico significativo. Já na figura 7 a resistência à compressão uniaxial obteve um acréscimo de 70,86% de acordo com o tempo de dispersão de 30 minutos do nanomaterial. Segundo Barbosa (2015), surgem elevadas forças atrativas de van der Waals entre as nanofibras, havendo uma tendência para que estas se juntem em aglomerados difíceis de dispersar, por isso deve-se deixar o óxido de grafeno dispersando por um tempo através da ultrassonificação para se ter uma dispersão homogênea possibilitando uma forte ligação com a matriz de cimento e não se aglomerarem entre si quando adicionadas à pasta. Essa forte ligação eleva as propriedades mecânicas.

## 8. CONCLUSÕES

Esse trabalho salienta a importância e as vantagens da utilização da nanotecnologia na construção civil, principalmente dos nanomateriais, como o grafeno e o óxido de grafeno. Uma das grandes vantagens desses nanomateriais é o aumento da área superficial dos materiais na escala nano, o que os torna muito mais reativos e por isso proporcionam características como: condutividade elétrica, absorção ótica, reatividade química e acréscimos nas propriedades mecânicas.

O surgimento do óxido de grafeno foi devido as muitas aplicações tecnológicas que requerem soluções ou dispersões do nanomaterial, onde este não dispersa bem em água e dificulta a sua reação com outros materiais. Logo, tal material passou a ser estudado e utilizado na construção civil através de pastas de cimentos, argamassas e até concretos, pois mostram um aumento significativo na resistência à tração na flexão e resistência à compressão uniaxial, podendo ser usado como reforço para melhorar defeitos de materiais à base de cimento a nível nanoscópico.

A adição de óxido de grafeno em pastas obteve bons resultados frente às propriedades mecânicas, além disso, o teor que mais influenciou foi o de 0,05% em relação aos teores de 0,0% e 0,03%. Os acréscimos dessas propriedades foram de 70,86% e 24,05% em relação a resistência à compressão uniaxial e a resistência a tração na flexão, respectivamente. Esses acréscimos das propriedades mecânicas podem ser devido a distribuição desse nanomaterial na matriz cimentícia, pois preenche os menores poros formando uma estrutura densa. Também, o OG produz cristais que se combinam com os cristais da hidratação do cimento.

A utilização do óxido de grafeno apresenta ser promissor na construção civil, principalmente na aplicação de argamassas e concretos. Atualmente, cresce o interesse na nanotecnologia em todas as áreas, mas em especial na construção civil, pois para atingir bons resultados nas propriedades mecânicas é necessária uma pequena quantidade de OG além do mais preenche melhor os vazios, tornando menos suscetíveis a defeitos na microestrutura das misturas com Cimento Portland. Portanto, espera-se que futuramente esses materiais sejam produzidos em larga escala industrial e que sejam economicamente viáveis. Cabe destacar que devido aos resultados apresentarem elevada resistência à tração na flexão, acredita-se que tal adição poderá substituir o uso de aço nas estruturas de concreto armado.

## 9. REFERÊNCIAS

**_____**. *NBR 11579:* Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

**_____**. *NBR 13279:* Cimento Portland — Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 16605:* Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AITCIN, P. C. *Concreto de alto desempenho*, tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo – Editora Pini, 2000.

BABAK, F.; ABOLFAZL; H.; ALIMORAD, R.; PARVIZ, G. *Preparation and Mechanical Properties of Graphene Oxide: Cement Nanocomposites***.** The Scientific World Journal, 2014.

BARBOSA, D. F. *Influência do óxido de grafeno em argamassas de cal hidráulica natural.* Faculdade de ciências e tecnologia da universidade Nova de Lisboa, 2015.

BAUER, L.A.F. *Materiais de construção*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Ed., 1994, 435p.

CAMARGOS, J. S. F.; SEMMER, A. O.; SILVA, S. N. *Characteristics and applications of graphene and graphene oxide and main routes for synthesis.* The Journal of Engineering and Exact Sciences, v.03, p. 1118–1130, 2017.

CHUAH, S.; PAN, Z.; SANJAYAN, J. G.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. *Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide.* Construction and Building Materials, v. 73, p. 113–124, 2014.

CHUAH, S.; PAN, Z.; SANJAYAN, J. G.; WANG, C. M.; DUAN, W. H. *Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide.* Construction and Building Materials, v. 161, p. 519–527, 2018.

DEDAVID, Berenice A.; GOMES, Carmem I.; MACHADO, Giovanna. *Microscopia eletrônica de varredura – aplicações e preparação de amostras.* Pontifícia universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2007.

LV, S.; MA, Y.; QIU, C.; SUN, T.; LIU, J.; ZHOU, Q. *Effect of graphene oxide nanosheets of microstructure and mechanical properties of cement composites.* Construction and Building Materials, v. 49, p. 121–127, 2013.

LV, S.; LIU, J.; SUN, T.; MA, Y.; ZHOU, Q. *Effect of GO nanosheets on shapes of cement hydration crystals and their formation process.* Construction and Building Materials, v. 64, p. 231–239, 2014

LU, LIULEI; OUYANG, DONG. *Properties of Cement Mortar and Ultra-High Strength Concrete Incorporating Graphene Oxide Nanosheets.* Nanomaterials, v. 7, 2017.

MARASCHIN, G. T. *Preparação de óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido e dispersão em matriz polimérica biodegradável.* Universidade católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2016.

MELO, Celso P.; PIMENTA, Marcos A. *Nanociências e nanotecnologia.* Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/ MG, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais.* São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. *Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais.* PINI, Ed. 2ª, São Paulo, 2014.

MORAIS, Jorge F. *Aplicações da nanotecnologia na indústria da construção: Análise experimental em produtos cimentícios com nanotubos de carbono.* Universidade federal Fluminense, Niterói/RJ, 2012.

NETO, Antonio C.; GUINEA, Francisco; PERES, Nuno M. *Drawing conclusions From graphene.* Physics World, 2006.

Disponível em: <http://resources.seattlecentral.edu/faculty/dwick/graphene.pdf> Acesso em: 14 set.2018.

NOVAIS, Celice S. *Caracterização estrutural por difração de raios X e estudo de atividade citotóxica de complexos de platina.* Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia/MG, 2009.
PAN, Z.; HE, L.; QIU, L.; KORAYEM, A. H.; LI, G.; ZHU, J. W.; WANG, M. C. *Mechanical properties and microstructure of a graphene oxide–cement composite.* Cement & Concrete Composites, v. 58, p. 140–147, 2015.
PEREIRA, A.C.; KLOSTER, C. S.; SOBRINHO, J. L. S.; LANINI, T. L. S.; RIGON, U. M. M. *Cimento Portland.* Universidade do estado de Mato Grosso, Sinop/MT, 2013.
SILVA, Isac J.; LIBÓRIO, Jefferson B. L. *A estrutura porosa de pasta, argamassa e concreto de cimento Portland e sua influência na durabilidade do concreto.* Universidade de São Paulo, Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis/SC, 1999.
SIQUEIRA, Lígia V. M. *Laboratório de materiais de construção I 1ª parte – Cimento.* Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2008.
THOMAZ, C.S, Eduardo. *Hidratação do cimento Portland.* Notas de aula.
Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/>. Acesso em: 12 out.2018.
SOBOLEV, K.; FLORES, I.; HERMOSILLO, R.; TORRES-MARTÍNEZ, L. M. *Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites.* In: SOBOLEV, K. e SHAH, S. P. (Ed.). Nanotechnology of concrete: recente developments and future perspectives. United States of America: American Concrete Institute, 2008. SP-254, p. 93-120.

## 10. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# **SUSTENTABILIDADE:** MATERIAIS DE BAIXO IMPACTO

**Roberta Gazolla Ferrarese**
URI Câmpus de Erechim. Endereço: RS 331, nº 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS
E-mail robertaferrarese@hotmail.com

**Ana Paula Zulian**
URI Câmpus de Erechim. Endereço: RS 331, nº 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS
E-mail anazulian@live.com

**Rodrigo Gazolla Ferrarese**
URI Câmpus de Erechim. Endereço: RS 331, nº 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS
E-mail rodrigo_ferrarese@hotmail.com

***Resumo***. *O presente artigo inicia abordando sobre a utilização desenfreada feita pelo homem dos recursos naturais. Pensando nas possíveis soluções para isso, o artigo busca dar ênfase aos materiais em construções de baixo impacto ambiental, apresentando ideias criativas para o uso em projetos por profissionais da área da construção civil. Pensar em sustentabilidade não significa apenas pensar a respeito do meio ambiente, mas também, pensar em qualidade de vida. A problemática ambiental pede uma renovação, tanto no campo teórico da arquitetura quanto na prática das construções, condicionando definitivamente a preocupação com o meio ambiente aos novos projetos em execução.*

***Palavras chave:*** *sustentabilidade; construção civil; materiais de baixo impacto.*

***Abstract***. *This article begins by addressing the unbridled man-made use of natural resources. Thinking about possible solutions for this, the article seeks to emphasize materials in low environmental impact constructions, presenting creative ideas for use in projects by construction professionals. Thinking about sustainability means not only thinking about the environment but also thinking about quality of life. The environmental problem calls for a renewal, both in the theoretical field of architecture and in the practice of construction, definitively conditioning the concern with the environment to the new projects under execution.*

***Key words:*** *sustainability; construction; low impact materials.*

## 1. INTRODUÇÃO

No decorrer da história, houve um crescimento exacerbado no consumo dos recursos naturais promovidos pela relação Homem/Meio Ambiente. Esta relação é marcada pelo crescente impacto gerado na natureza por suas atitudes. Desta forma, a procura de soluções para melhoria deste panorama acaba sendo a única saída para o homem, onde não só as buscas de uma relação mais harmônica com a natureza, como também mudanças sociais profundas passam a ser absolutamente vitais pois o homem demorou a se dar conta do impacto negativo que suas atitudes causavam ao meio ambiente ao longo do tempo.

Os níveis alarmantes de poluição, de violência, de fome, de escassez de água e de energia, de elevação da temperatura global, de danos da camada de ozônio, entre outros, fazem-nos acreditar que as mudanças ambientais induzidas pela atividade humana excederam o ritmo natural da evolução, fazendo com que tenhamos que buscar, urgentemente, formas para nos adequarmos aos problemas que estamos criando com tamanho descontrole deixando de usar como desculpa o capitalismo.

O conceito de moderna construção sustentável baseia-se no desenvolvimento de um modelo que enfrente e proponha soluções aos principais problemas ambientais de sua época, sem renunciar à moderna tecnologia e à criação

de edificações que atendam às necessidades de seus usuários. Trata-se de uma visão multidisciplinar e complexa, que integra diferentes áreas do conhecimento a fim de reproduzir a diversidade que compõe o próprio mundo (ARAÚJO, 2014).

## 2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Desde a Antiguidade, a construção civil já era desenvolvida. No início, era uma forma simples de abrigo que, com o passar dos tempos, foi evoluindo. Nunca houve preocupação com os impactos que a exploração dos recursos naturais causariam para a natureza. Com o tempo, esta realidade foi modificada e a preocupação com o futuro do meio ambiente tornou-se crescente. Com isso, houveram modificações dos métodos construtivos na esperança de gerar menos impactos.

Nas Universidade há orientação e conscientização em gerar o pensar sustentável no futuro profissional. Porém, ainda é muito pequena a aplicação nos projetos construtivos com resultados efetivos. O profissional está tendo dificuldade em incluir nos seus projetos questões que envolvam o meio ambiente, devido ao pouco acesso aos materiais sustentáveis e, também, dificuldades em dominar as suas técnicas de uso e manutenção.

A problemática ambiental pede uma renovação, tanto no campo teórico da arquitetura quanto na prática das construções. É importante que a questão ambiental seja definitivamente encarada como um fator condicionante da arquitetura.

Um empreendimento com um bom desempenho ambiental, é caracterizado por ter minimizados ou até mesmo eliminados seus impactos negativos no meio ambiente e em seus usuários, sendo avaliado sob cinco enfoques: planejamento sustentável da área construída; economia de água e eficiência quanto a seu uso; eficiência energética e emprego de energia renovável; conservação de materiais e fontes de recursos; e qualidade do ambiente no interior da casa (DEGANI; CARDOSO, 2002).

## 3. DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES

O crescimento acelerado do patrimônio construído nem sempre considera as questões de sustentabilidade e durabilidade, o que tem levado ao envelhecimento pré-maturo das edificações. Outra causa deste desgaste precoce é a introdução de novos produtos e/ou sistemas na atividade da construção associados às novas tecnologias sem o devido conhecimento da sua correta aplicação e do seu futuro desempenho.

De extrema importância é a fase de projeto que deve considerar a durabilidade dos materiais a serem empregados, uma vez que é nesta etapa que são escolhidos os produtos a serem aplicados na construção. Também é importante a seleção adequada da solução construtiva e o conhecimento do desempenho dos seus componentes, para um projeto de durabilidade. A sustentabilidade de uma construção também está diretamente ligada à sua durabilidade e à sua capacidade de sobreviver adequadamente ao longo do tempo, referindo-se à maneira como ela responde às condições de poluição do ar, solo e água e aos impactos no meio ambiente em geral. De acordo com SNIC(2013):

> […]as construções duráveis e a vida útil dos materiais possuem relação direta com a sustentabilidade. Materiais que possuam vida útil prolongada e ao mesmo tempo garantam conforto aos usuários e não necessitem de manutenções excessivas contribuem para a redução de resíduos e de energia embutida em demolições e reformas. Estima-se que a produção de cimento no ano de 2013 chegou há 70,2 milhões de toneladas, e o Brasil é o menor emissor de CO2 por tonelada de cimento do mundo. Conforme demonstrada na Figura 01. A baixa emissão de CO2 se dá pela implantação de energias alternativas como o uso de biomassa para a fabricação do cimento e também pela adição de escórias de alto forno, cinzas volantes no produto final (SNIC, 2013).

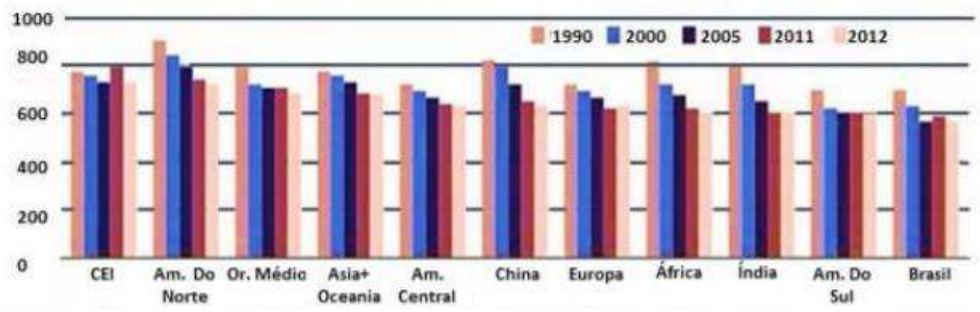



Figura 01
Fonte: SNIC (2013)

Quando se projeta já viabilizando o aumento da vida útil da construção, acaba se contribuindo para a sustentabilidade. Quando se adia uma manutenção ou prolonga o tempo de utilização de uma edificação, o consumo de materiais é menor. A Norma Brasileira de Regulamentação – NBR 15.575 (2013) aponta que existe a necessidade da realização de manutenções nas edificações, já que se não são realizadas, podem acabar comprometendo a construção. A Figura 02 exemplifica com dados como a falta de manutenção em uma estrutura pode encurtar o tempo de utilização. (NBR 15.575, 2013)

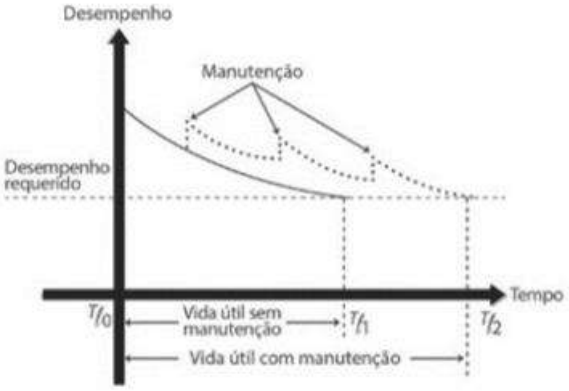



Figura 02
Fonte: NBR 15.575(2013)

## 4. MATERIAIS E TECNOLOGIAS

De início, com a abundância de materiais oferecidos pela natureza, o homem fez uso sem pensar no esgotamento destes recursos. Com a sua evolução intelectual e percebendo a possibilidade de esgotamento dos recursos naturais, com consideráveis consequências para a preservação da vida no planeta, fez com que o homem passasse a encarar de maneira diferente a sua forma de relacionamento com o Meio Ambiente.

Nos dias atuais, observa-se um notável interesse pelo uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental na indústria da construção civil. Há aumento pela busca da utilização de tecnologias e recursos sustentáveis e há crescente estudo sobre materiais de baixo impacto ambiental como, por exemplo, bambu, terra crua, fibras naturais, concretos sustentáveis, dentre outros.

A decisão consciente do profissional, não só quanto ao sistema construtivo, considerando a otimização, racionalização e modulação deste sistema, mas também o material construtivo utilizado, considerando a distância para seu transporte até a obra, o desempenho térmico, acústico, o custo, a facilidade de operação e de manutenção, o tipo de mão de obra empregada, faz com que o projeto seja mais integrado ao local em que está implantado, com menos impacto ao meio ambiente e à comunidade em questão.

O emprego de materiais sustentáveis no ambiente construído e na realidade brasileira não é tão simples como parece. Muitos empecilhos dificultam a utilização e a aceitação destes materiais no segmento da construção civil. Muitas vezes, o professional busca aplicar estas alternativas em seus projetos mas encontra barreira de aceitação junto aos proprietários que contrataram seus serviços pois, além da falta de conhecimento, por tratar-se de opções mais custosas, acaba que as pessoas ainda resistem a estas alternativas.

### 4.1 Bambu

O bambu - material sem muito valor econômico, social ou cultural em nossa sociedade – é, em outros países, motivo de orgulho e pesquisas por seu potencial em diversas e comprovadas áreas de atuação. Material como o bambu não é poluente, não requer grande consumo de energia e oxigênio em seu processo de preparo, sua fonte é renovável e de baixo custo.

Segundo RECHT (1994), a utilização do bambu é amplamente conhecida e remonta a pré-história, principalmente na região do Sul da Ásia e China, tendo potencial tanto para construção de habitações como pontes. Existem registros de pontes, que há cinco mil anos, venciam grandes vãos com o auxílio de cabos de fibras de bambu. Segundo JUNIOR et. al, (2009):

> […]o bambu possui uma força de tração paralela as fibras, similar à do aço. É mais leve que a madeira, o que o torna insubstituível em locais de difícil acesso, para vencer ousados vãos e balanços. O uso do concreto no interior de gomos estratégicos, como criou o arquiteto Simon Vélez, dá ao bambu uma alta resistência de compressão transversal as fibras, sem roubar sua plasticidade natural. É utilizado como pilar, viga, caibro, ripa, telha, dreno, piso e revestimentos, e se tratados adequadamente podem durar como madeira de lei. (JUNIOR et. al, 2009)



Figura 03
Utilização do bambu em andaime
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/793440/video-andaimes-de-bambu-na-construcao-de-arranha-ceus-em-hong-kong



Figura 04
Concreto armado com bambu
Fonte: http://www.dryplan.com.br/blog/ler/pID/137/concreto-armado-com-bambu.php

### 4.2 Fibras naturais

As fibras existentes estão divididas em dois grandes grupos e são eles: as fibras naturais e as fibras sintéticas. As fibras naturais mais comuns são as fibras de algodão, lã, seda etc. Já entre as fibras sintéticas, ou seja, aquelas produzidas pelo homem, estão o poliéster, poliamida, acrílico etc. Além disso, ainda se classificam segundo sua origem como sendo naturais de origem vegetal, animal e mineral ou sintéticas a partir de polímeros naturais ou polímeros sintéticos. Fibras naturais como sisal, juta, algodão, bananeira e coco são abundantes em países com grande potencial agrícola como o Brasil, porém, infelizmente, estes recursos ainda não são explorados adequadamente. A exploração sustentável desses recursos se faz urgente e necessária, pois, além de gerar empregos diretos, é uma forma de evitar o êxodo rural (MEDEIROS, 2002; MATTOSO et al, 1996).

Segundo Ivana Jatobá(2015) a fibra do coco verde tem um excelente potencial para uso na construção civil. Como fibra natural, pode apresentar boa rigidez dielétrica, alta resistência a impactos, durabilidade e versatilidade. Com ela, é possível fabricar painéis com diversas utilidades nas obras. Depois de seca e desfiada, a fibra é misturada com uma resina e depois prensada. Pode ser também misturada ao cimento para então ser aplicada no fibrocimento ou no concreto fibra. Mas, neste caso, o cimento a ser utilizado deve ter baixa alcalinidade, para evitar a destruição das fibras que o cimento comum causa. Em forma de manta, a fibra da casca do coco verde apresenta ótimo desempenho em taludes nas margens de estradas, encostas, áreas de reflorestamento e qualquer superfície de solo muito inclinada ou sujeita a erosões. Isso porque o emaranhado da manta ajuda a "segurar" a terra e acaba, com o tempo, fazendo parte dela. Outra vantagem da fibra do coco é que os painéis dela fabricados são ótimos isolantes térmico e acústico. Isso no mercado atual de construção é de extrema necessidade, pois confere conforto ao ambiente com redução de uso de energia. Na produção de pisos e almofadas de portas a fibra de coco também está presente.



Figura 05
Fibra de coco
Fonte: www.google.com.br

## 5. CONCLUSÕES

Após a conclusão do presente artigo, percebe-se a importância da mudança do pensamento referente a preservação do meio ambiente quanto ao desenvolvimento da construção civil. Verificou-se que a busca por elementos construtivos alternativos ajudam nessa preservação e reduzem significativamente os impactos ambientais.

Os materiais alternativos são de extrema importância pois ajudam na evolução e melhoramento das técnicas construtivas aplicadas no âmbito da construção, pois vão ajudar no desenvolvimento de um futuro mais próspero no quesito ambiental, ajudando na reabilitação do planeta pelos prejuízos causados pelo homem. É importante repensar os

materiais a serem utilizados para a produção de projetos construtivos. É necessário estar atento às novidades de materiais sustentáveis aplicados a construção civil pois eles podem proporcionar uma redução no impacto ambiental e também, quando bem planejados, até nos custos da obra.

## 6.REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, Márcio Augusto. A moderna construção sustentável: Disponível em: http://www.idhea.com.br/artigos_entrevistas.asp. Acesso em: 14 jul. 2019.

DEGANI, Clarice Menezes; CARDOSO, Francisco Ferreira. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/personal_files/francisco_cardoso/Nutau%202002%20Degani%20 Cardoso.pdf. Acesso em: 15 jul. 2019.

CARDOSO, Bruno Henrique; CANAZARO, Camila Copello; MANCIO, Maurício. A durabilidade e sustentabilidade das estruturas: Desafios e Oportunidades. Disponível em: http://www.firs.institutoventuri.org.br/images/T070_DURABILIDADE_E_SUSTENTABILIDADE_DAS_ESTRUTURAS_DESAFIOS_E_OPORTUNIDADES.pdf. Acesso em: 15 jul. 2019.

RECHT, C. WETTERWALD, M. F. Bamboos. London: B.T. Batsford Ltd, 1994

JUNIOR, Alfredo Baganha Teixeira; KENUPP, Leonardo Kozlowiski; CAMPOS, Rodrigo De Queiroz. Utilização de Bambu na Construção Civil – Uma Alternativa ao Uso da Madeira.

Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/793440/video-andaimes-de-bambu-na-construcao-de-arranha-ceus-em-hong-kong. Acesso em: 21 jul. 2019.

Disponível em: http://www.dryplan.com.br/blog/ler/pID/137/concreto-armado-com-bambu.php. Acesso em: 21 jul. 2019.

MATTOSO, L. H. C.; FRAGALLE, E. P. Uso de fibras vegetais na indústria automobilística: necessidade ecológica, oportunidade para o Brasil. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 4, n. 1, p. 9-1, 1996. MEDEIROS, E. S. Desenvolvimento de compósitos de resina fenólica reforçados por tecidos híbridos juta/algodão. 2002. 149 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

JATOBÁ, IVANA. Fibra de coco verde na construção civil. Disponível em: http://www.universojatoba.com.br/bem-estar/sua-casa/fibra-coco-verde-na-construcao-civil. Acesso em: 21 jul. 2019.

## 6. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS CONSTRUÍDAS EM AMBIENTE MARÍTIMO

**Roberta Gazolla Ferrarese**
URI Câmpus de Erechim. Endereço: RS 331, nº 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS
E-mail robertaferrarese@hotmail.com

**Rodrigo Gazolla Ferrarese**
URI Câmpus de Erechim. Endereço: RS 331, nº 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS
E-mail rodrigo_ferrarese@hotmail.com

***Resumo***. *O setor da construção civil é fundamental para o desenvolvimento econômico do país, sendo essencial para planejamento dos grandes centros urbanos e, em especial, das zonas marítimas. Entretanto, o ambiente marítimo, propõe sérios desafios aos profissionais deste setor, em termos construtivos, uma vez que, representa um ambiente agressivo, capaz de afetar de forma significativa o desempenho e a vida útil das estruturas, podendo promover o aparecimento de inúmeras manifestações patológicas no material, por meio de agentes físicos, químicos e biológicos. Neste contexto, o presente artigo terá como objetivo principal demonstrar as principais patologias encontradas em estruturas construídas no ambiente marítimo. A metodologia utilizada consistiu na revisão bibliográfica de artigos, dissertações, monografias e teses. Os principais resultados demonstraram que as principais manifestações patológicas referem-se a corrosão de armaduras, fissuras e desagregação do concreto. Concluindo que, são responsáveis por comprometer o funcionamento, segurança e vida útil da construção, propondo um maior risco de acidentes.*

***Palavras chave:*** *Manifestações patológicas; Ambientes marítimos; Concreto armado.*

***Abstract***. *The civil construction sector is fundamental for the economic development of the country, being essential for the planning of large urban centers and, in particular, of maritime areas. However, the maritime environment, poses serious challenges to professionals in this sector, in constructive terms, since it represents an aggressive environment, capable of significantly affecting the performance and the useful life of the structures, and can promote the Appearance of numerous pathological manifestations in the material, through physical, chemical and biological agents. In this context, this article will have as main objective to demonstrate the main pathologies found in structures built in the maritime environment. The methodology used consisted in the bibliographic review of articles, dissertations, monographs and theses. The main results showed that the main pathologies manifestations refer to the corrosion of armor, cracks and breakdown of concrete. Concluding that, they are responsible for compromising the operation, safety and service life of the construction, proposing a greater risk of accidents.*

***Key words:*** *Pathological manifestations; Marine environments; Reinforced concrete.*

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente processo de urbanização, ao longo dos anos, foi responsável por impulsionar e intensificar o ciclo produtivo do setor da construção civil, especialmente, em regiões litorâneas. De modo a aumentar o número de elementos construtivos (edificações, pontes, viadutos e portos) e, consequentemente, a população nestas zonas (LIMA; BRITO, 2016).

Os elementos construtivos instalados na região da faixa litorânea encontram-se, quase sempre, situados junto à costa, sob influência da proximidade do mar (SILVA, 2017). Este ambiente, segundo Silva (2011) é considerado agressivo as estruturas construídas, devido suas características físicas, químicas e biológicas, que tornam o ambiente propício ao desenvolvimento de uma grande variedade de processos de degradação e, consequentemente, aparecimento de manifestações patológicas.

As manifestações patológicas constituem anomalias responsáveis por comprometer a vida útil das construções, afetando suas propriedades de resistência, durabilidade e rigidez, de forma a reduzir o nível de conforto, bem-estar e segurança, seja em razão do aparecimento de doenças (respiratórias) ou ainda, na ocorrência de acidentes (ARIVABENE, 2015). Implicam, também, em gastos financeiros, direcionados a reparos, correções e/ou reformas, não previstas, bem como perdas materiais (NADALINI; BISPO, 2017).

Segundo Nadalini e Bispo (2017), o concreto armado representa o principal material empregado na concepção de estruturas, sendo o mais utilizado dentro do setor da construção civil e nas áreas marítimas, uma vez que, constitui um material com propriedades únicas e vantajosas em termos de qualidade e segurança estrutural. Porém, apesar desta grande importância, pode vir a apresentar inúmeras patologias, principalmente, em ambientes agressivos, como é o caso das zonas marítimas.

De acordo com Serra (2012), quando as estruturas se encontram expostas a inúmeros agentes físicos, químicos e biológicos do meio, tendem a estar suscetíveis ao aparecimento de anomalias, tanto na fase de construção, quanto no período de pós entrega. Acredita-se que manifestações mais comuns em estruturas construídas de concreto armado sejam a corrosão de armaduras, as fissuras e a desagregação do concreto, seja pelas ações físicas e químicas do ambiente ou ainda, pela falta de manutenção destas estruturas, que tendem a ser ignoradas, em razão da falta de conhecimento e informação sobre o ambiente agressivo em que se encontram expostas (SILVA, 2017).

Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo principal apresentar as principais patologias encontradas em estruturas construídas no ambiente marítimo, de modo a demonstrar as principais características da zona marítima e as principais causas, assim como consequências destas anomalias. A metodologia utilizada consistiu na revisão bibliográfica de artigos, dissertações, monografias e teses, disponíveis na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), no Google Acadêmico.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

De acordo com Arivabene (2015), apesar das estruturas construídas serem projetadas e instaladas com o emprego dos melhores materiais disponíveis no mercado, em termos de resistência, durabilidade e flexibilidade, estes elementos podem vir, ao longo dos anos, a sofrer inúmeras alterações, em sua composição estrutural e química. Uma vez que, conforme ressalta Reis (2011), quando estas estruturas se encontram expostas a ambientes agressivos ou, inadequados a sua funcionalidade, tendem a perder suas propriedades e características iniciais, ocasionando o surgimento de manifestações patológicas (patologias).

O termo “patologia” refere-se a ocorrência de anomalias nas estruturas, originadas, normalmente, por meio de um conjunto de processos de deterioração (ARIVABENE, 2015). Este conjunto pode ter diferentes causas como, por exemplo, acidentes, erros de projeto, falhas de execução, má utilização de materiais, uso inadequado por parte do usuário, entre outras (VIEIRA, 2016).

De acordo com Arivabene (2015), as patologias podem afetar e comprometer diretamente a vida útil das construções e podem se manifestar de diversas formas, como em trincas, rachaduras, fissuras, corrosão de armaduras, carbonatação, desagregação e desgaste do concreto, infiltrações, manchas, bolor ou mofo, e eflorescência. Que, em casos graves, podem ser responsáveis por comprometer a qualidade da estrutura e, consequentemente, provocar desabamentos ou acidentes (ARIVABENE, 2015).

Conforme o mesmo autor, estas patologias são, normalmente, resultantes da ausência de programas adequados de vistoria e manutenção, geradas assim, pela falta de conhecimento técnico, da capacidade dos profissionais e por problemas econômicos (REIS, 2011). Já Lapa (2008) ilustra que, podem ainda, serem resultantes de causas naturais, relacionadas a degradação física (ações da temperatura, do vento, da chuva, da abrasão e da vibração), química (presença de águas puras ou agressivas, sulfatos, sais e oxigênio) e biológica (ações de agentes vegetais (fungos e raízes) e de esgotos, bem como dejetos animais) do material.

### 2.1.1 EM AMBIENTE MARÍTIMO

Acredita-se que grande parte das estruturas construídas no ambiente marítimo sejam executadas em concreto armado e que, portanto, sejam compostas pela associação do concreto a barras de aço. Segundo Lima e Brito (2016), o concreto representa um material com propriedades vantajosas para o setor construtivo, em razão, principalmente, de sua grande rigidez, porém, se exposto a ambientes agressivos, como os marinhos, é capaz de demonstrar significativa fragilidade.

De acordo com a Norma de Projetos e Estruturas de Concreto, NBR 6118, que estabelece uma das classificações mais importantes para o dimensionamento de estruturas construídas em concreto, a classe de agressividade do ambiente marinho é IV (muito forte) e seu risco de deterioração é considerado elevado. Esta norma define o grau de agressividade, em relação ao número e a intensidade de ações físicas e químicas, atuantes no ambiente, em que a estrutura será instalada (SILVA, 2017).

Sendo assim, o ambiente marinho constitui um meio agressivo, considerado altamente inóspito para os materiais de construção. A água do mar, por exemplo, possui gases (na superfície ou dissolvidos) e íons corrosivos, assim como organismos marinhos que, em contato com a estrutura, são capazes de promover o aparecimento de inúmeras patologias. Além disso, há impactos produzidos pelas ondas e, transformações provenientes da cavitação, abrasão e erosão da área (SILVA, 2017). Há, também, a pressão da água que, juntamente com as temperaturas extremas, aceleram o processo de deterioração, comprometendo a durabilidade da estrutura de concreto (SILVA, 2011).

Acredita-se que grande parte da hostilidade dos ambientes marítimos esteja associada a imensa quantidade de sais dissolvidos na água do mar, que incluem sais orgânicos, compostos orgânicos (provenientes dos organismos marinhos) e gases dissolvidos (SERRA, 2012). O ambiente marinho pode ter uma composição variável, dependendo das características físicas e climáticas da região, entretanto, os principais sais dissolvidos e agressivos as estruturas construídas constituem: cloreto de sódio (NaCl), cloreto de magnésio (MgCl2), sulfato de magnésio (MgSO4), sulfato de cálcio (CaSO4), cloreto de cálcio, cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K2SO4) e bicarbonato de cálcio (CaCO3) (SILVA, 2017).

A zona marítima possui uma alta umidade relativa do ar e uma grande incidência de chuvas, porém, as condições de exposição é que serão responsáveis por determinar a gravidade à estrutura de concreto (SERRA, 2012). O calor constitui, também, um fator determinante, uma vez que, é capaz de acelerar o início e/ou a progressão dos

mecanismos de deterioração, acredita-se que a velocidade das reações químicas possa duplicar com o aumento de 10°C de temperatura (SERRA, 2012).

Conforme ressalta Silva (2017), os principais tipos de deterioração, encontrados em estruturas construídas em ambientes marítimos, correspondem: as fissuras, à corrosão do aço e as decomposições químicas. Já com base em Lima e Brito (2016) é possível notar as patologias relacionadas: ao desgaste do concreto e perda de massa superficial (em razão de fenômenos físicos de abrasão, erosão e cristalização de sais); e a corrosão de armaduras (devido à carbonatação ou ingresso de íons de cloreto).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O surgimento de manifestações patológicas em estruturas construídas, de acordo com Arivabene (2015), Lapa (2008) e Lima e Brito (2016), constitui uma das maiores preocupações em termos de qualidade, segurança e bem-estar. Uma vez que, estas anomalias podem afetar diretamente a saúde e a segurança dos indivíduos, bem como funcionamento das estruturas, não apenas em relação a probabilidade de acidentes, mas, também, na redução da qualidade de vida.

É possível observar por meio do estudo de Silva (2017), que os agentes físicos de degradação, no ambiente marítimo, compreendem aos gradientes de umidade e de temperatura, que são responsáveis por promover variações volumétricas no concreto e fissuras mapeadas, por meio de mecanismos de ciclos de gelo-desgelo, de umedecimento-secagem e retração térmica inicial. Já os agentes biológicos constituem os organismos encrustadores (algas, crustáceos, equinodermos e moluscos), responsáveis por gerar desgaste nas estruturas, ao se fixarem ou ainda, indiretamente, por meio da produção de resíduos metabólicos, enzimas e ácidos.

É possível notar, também, no estudo de Serra (2012) e Lima (2017), que o tipo mais comum de patologia encontrada em estruturas nestes ambientes, é a corrosão de armaduras. Que, segundo Lima e Brito (2016), são resultantes, geralmente, do ataque de íons cloretos, seja por meio do contato direto com a água do mar ou ainda, por partículas levadas pelo vento (deposição de sais presentes no vapor d'água). Silva (2011) complementa neste caso, que a corrosão pode promover a fissuração e o destacamento do concreto, assim como a ruptura das barras e que, também, pode ser provocada pela alta umidade do ar.

O produto resultante do processo de corrosão é denominado como ferrugem, o qual representa um material não resistente e expansivo, que tende a ocupar um volume maior que o da armadura original (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Esta variação do volume pode vir a provocar tensões de tração, responsáveis por ocasionar fissuras no material, podendo até desintegrá-lo, expondo as armaduras por destacamento do concreto (NADALINI; BISPO, 2017).

Sendo assim, os danos resultantes da corrosão da armadura, surgem em forma de expansão, fissuras e lascamento do cobrimento, promovendo a perda de aderência entre o aço e o concreto, redução de área da seção transversal da armadura e fatores que poderão proporcionar o colapso da estrutura, a queda de blocos e a perda da resistência do material (NADALINI; BISPO, 2017).

Além da corrosão de armaduras, conforme ressaltou Silva (2017) e Serra (2012), a segunda patologia mais encontrada nas estruturas são as fissuras, provenientes de processos de molhagem e secagem ou da corrosão de armaduras (expansão do aço no concreto). Além disso, podem ser ocasionadas pelos gradientes de temperatura e umidade, os quais provocam tensões de tração superiores às tensões admissíveis, dando origem ao aparecimento de

fissuras físicas (LIMA; BRITO, 2016). Esta patologia tende a favorecer o destacamento do concreto e o ingresso excessivo de agentes químicos, responsáveis pelo processo de degradação do material.

A desagregação (destacamento) do concreto, conforme ressalta o estudo de Serra (2012), representa o processo em que o material perde sua propriedade de aglomerante. Ou seja, constitui a separação física do concreto em fatias, o que reduz e compromete a sua capacidade resistente a esforços, principalmente, na região desagregada, tornando a estrutura fraca e vulnerável a acidentes. Estudos realizados em Espanha pela Universidade Politécnica de Madrid constataram que a fase de concepção e projeto das estruturas de Betão armado é a responsável pela falta de durabilidade e desempenho da estrutura. Este estudo revelou também que as patologias ocorrem sobretudo em vigas e lajes como se pode constatar pela Figura 3.3, sendo 60% destas patologias fissuras. Os restantes danos encontrados foram a deformação em lajes e vigas de pouca rigidez e a corrosão de armaduras em estruturas localizadas em ambientes agressivos, como é o caso do ambiente marítimo.

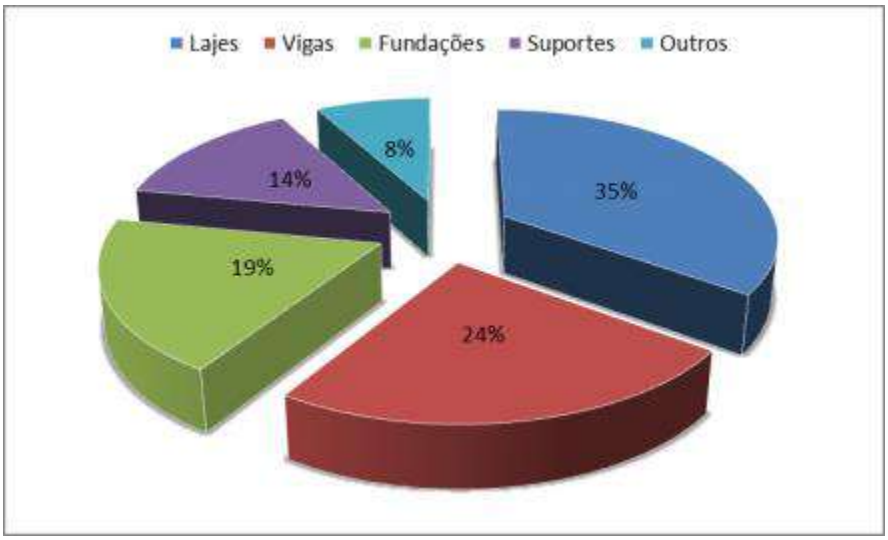



Figura 01
Fonte: SERRA(2012)

## 4. CONCLUSÃO

Com base nas informações coletadas, bem como apresentadas no presente artigo, é possível concluir que as estruturas construídas em ambiente marítimo estão sujeitas a inúmeros agentes físicos, químicos e biológicos, que podem comprometer o funcionamento, segurança e vida útil da construção, por meio, principalmente, do aparecimento de manifestações patológicas. Estas resumem-se, em grande parte, em casos de corrosão de armadura, fissuras e desagregação do concreto.

Conclui-se ainda que, a implantação de planos de manutenção constitui uma ferramenta essencial para a proteção da estrutura neste meio, considerado altamente agressivo, uma vez que, sua ausência é capaz de contribuir para a precarização destas zonas, em termos estruturais, de modo a agravar a quantidade e a gravidade das patologias.

## 5. REFERÊNCIAS

ARIVABENE, A. C. Patologias em Estruturas de Concreto Armado - Estudo de Caso. Revista Especialize Online: Goiânia, v. 10, p. 1 – 22, 2015.

LAPA, J. S. Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto. 2008. 56p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2008.

LIMA, A. O.; BRITO, V. L. Plano de manutenção de estruturas de concreto armado sujeitas a agressividade marinha: Estudo de caso no Porto de Cabedelo – PB. Interscientia, v. 14, n. 2, p. 7 – 18, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1° Ed. São Paulo: Editora Pini, 1994.

NADALINI, A. C. V.; BISPO, A. O. Patologia em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, v. 1, n. 1, p. 1 – 26, 2017.

REIS, L. S. N. Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado. 2001.114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2001.

SERRA, A. H. G. F. Análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo. 2012. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia do Porto – Universidade do Porto. Porto, 2012.

SILVA, L. K. Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará. 2011. 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

SILVA, S. S. Diagnóstico de estruturas de concreto em ambientes martinhos: Estudo de caso de uma plataforma de pesca. 2017. 87f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017.

VIEIRA, M. A. Patologias Construtivas: Conceito, Origens e Método de Tratamento. Revista Especialize Online: Goiânia, v. 1, p. 1 – 15, 2016.

## 6. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA EM ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM AREIA DE BRITAGEM

**Rodrigo Henryque Reginato Quevedo Melo, Luciana Marcondes Pandolfo, João Pedro Endres, Lucas Carvalho Vier, Fábio Augusto Henkes Huppes, Guilherme Jordão Cardoso.**
Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Campus I, Km 171, BR 285, Bairro São José, C. P. 611, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS, Brasil.
rodrigohquevedo@gmail.com; marcondes@upf.br; 132313@upf.br; 180293@upf.br; 180290@upf.br; 180291@upf.br

**Resumo:** A exploração indiscriminada de agregados naturais, como a areia geram elevados danos ambientais, diante desta realidade, diversos materiais alternativos buscam substituir a areia natural, neste contexto a areia de britagem vem sendo amplamente empregada. Deste modo, o presente trabalho busca analisar o comportamento de argamassas produzidas com areia britagem e areia natural, adotando-se a mesma curva granulométrica para todos os agregados, comparando as argamassas e suas propriedades no estado fresco e endurecido através de ensaios normalizados, além de comparações com a literatura existente. Observou-se uma tendência de melhoria no desempenho das argamassas no que se refere a resistência a compressão, entretanto outros fatores não apresentaram significativa relação. Evidenciou-se que a distribuição granulométrica dos agregados aliada a outros fatores possui influência nas propriedades analisadas, devendo ser consideradas durante o processo de dosagem e especificação. Conclui-se que o estudo e ajuste da granulometria dos agregados possui relevância, ainda que outros processos como lavagem e alteração da forma do grão também possam ser adotados para a melhoria do comportamento do agregado.

***Palavras chave:*** *Areia de Britagem, Granulometria, Argamassa*

## 1. INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento atual das sociedades vem exaurindo em velocidade assustadora os recursos naturais não renováveis, possuindo o entendimento de que a natureza é apenas, ou acima de tudo, fonte de matéria-prima e energia. O acelerado esgotamento das jazidas de areia natural próximas dos grandes centros de consumo e as políticas de proteção ambiental têm levado à exploração de areia para locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, acarretando um acréscimo considerável no valor final deste agregado miúdo. Segundo ANEPAC – Associação Nacional de Empresas Produtoras de Agregados para Construção Civil (2015). Estima-se que o consumo de agregado miúdo (areia) consumido no Brasil está na ordem de 439 milhões de toneladas/ano. Devido ao elevado consumo destes materiais, os recursos naturais têm se tornado cada vez mais escassos. Para solucionar esse crescente problema, há uma busca constante por materiais alternativos, sustentáveis, eficientes e economicamente viáveis (LODI, 2006; TRIGUEIRO, 2012; MELO, 2018).

Em razão do encarecimento progressivo da areia natural, ocasionado pelas distâncias percorridas entre extração e consumo, a utilização dos agregados miúdos de britagem apresenta-se como uma alternativa viável para substituir a areia natural, tanto para a execução de argamassas como para concretos. Entretanto, a produção deste material e sua utilização sem um critério técnico adequado tem resultado em inúmeras manifestações patológicas, levando à necessidade de estudos gerem conhecimento sobre suas características físico-químicas e conhecimento técnico para realizar a dosagem correta, de modo a aprimorar a qualidade e durabilidade dos revestimentos e concretos produzidos, tendo em vista que os agregados representam cerca de 60% a 80% do consumo dos materiais da argamassa pronta, em massa, resultando em significativa influência no seu comportamento no estado fresco, bem como no desempenho do revestimento, sendo necessário cautela e estudo durante sua seleção (CARASEK, 2010; GUACELLI, 2010).

O agregado nas argamassas pode ser definido como o esqueleto dos sistemas de revestimentos executados, interferindo diretamente em suas propriedades. Uma maneira para reduzir o consumo de cimento na produção de argamassas e concretos está atrelada a obter um esqueleto granular compacto, que apresente máxima densidade de empacotamento do agregado. Dessa forma colabora para a redução do volume de pasta de cimento necessário para o preenchimento dos vazios existentes no esqueleto granular. Para se obter esqueletos granulares compactos é necessário fazer o uso de modelos de empacotamento de partículas que permitam estabelecer a proporção e tamanho adequados dos agregados, de modo a obter um conjunto com um baixo índice de vazios (BAUER, 2005; SAHMARAN, 2009; CARASEK, 2007; POWERS, 1968; WONG, 2013; LONDERO, 2017).

Visto a elevada importância da composição granulométrica das areias, objetivou-se analisar através de ensaios e comparações com a bibliografia já existente, a influência da granulometria adotada para diferentes areias de britagem e natural.

As areias, pela sua natureza mineralógica, distribuição granulométrica, forma e textura superficial, têm uma importância significativa no desempenho das argamassas, no estado fresco relacionada diretamente com a trabalhabilidade e aplicabilidade, e no estado endurecido, através da sua resistência e durabilidade. As diferenças nas propriedades dos agregados influenciam diretamente nas propriedades das argamassas, mesmo que a areia não participe das reações químicas de endurecimento da argamassa, o agregado miúdo interfere, todavia, nas propriedades da argamassa, seja no estado fresco ou endurecido devido a composição granulométrica, teor de finos, forma e textura superficial dos grãos. as argamassas no estado fresco têm seu comportamento associado a parâmetros da areia como: ângulo de atrito e fator de empacotamento dos grãos, tendo em vista que o empacotamento possui significativa influência sobre o índice de vazios e massa unitária do agregado (na condição seca e solta), sendo, por sua vez, alterado pela forma e geometria das partículas, além da distribuição granulométrica. (SANTOS, 2015; ROSA, 2013; CARASEK, 2016; MELO, 2018)

## 2. MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Nesta seção é apresentado o programa experimental desta pesquisa, o qual descreve toda metodologia e procedimentos experimentais utilizados para a análise da influência da composição granulométrica de areias de britagem nas propriedades de argamassas.

Inicialmente realizou-se a seleção e caracterização dos materiais utilizados na pesquisa, para a produção das argamassas foi utilizado cimento Portland CP IV-32, especificado pela norma NBR 5753 (ABNT, 2016), e foi empregada a cal hidratada CH II, especificada pela norma NBR 7175 (ABNT, 2003a), como agregado foram utilizadas três diferentes areias, apresentadas na Figura 1, sendo duas de origem britada da região de Passo Fundo/RS e uma natural de Porto Alegre/RS, o traço em volume utilizado foi de 1:1,5:4,5 (cimento:cal:areia) e a composição granulométrica adotada como padrão para as areias foi a curva granulométrica de Füller (1907 apud CARNEIRO, 1999).

A escolha dessa curva granulométrica é resultado do trabalho de Pandolfo (2011), em que essa foi a curva que apresentou maior compacidade. Segundo Souto (2010) diversos pesquisadores ao longo dos anos desenvolveram diferentes curvas de referência com o objetivo de obter uma maior compacidade levado a um menor índice de vazios e desse modo, uma maior resistência mecânica do material. A primeira formulação de curva granulométrica desenvolvida com esta finalidade foi a curva Füller, desenvolvida por William Füller em 1907, a partir de dosagens experimentais a curva adotada tem por objetivo obter a máxima compactação do concreto.

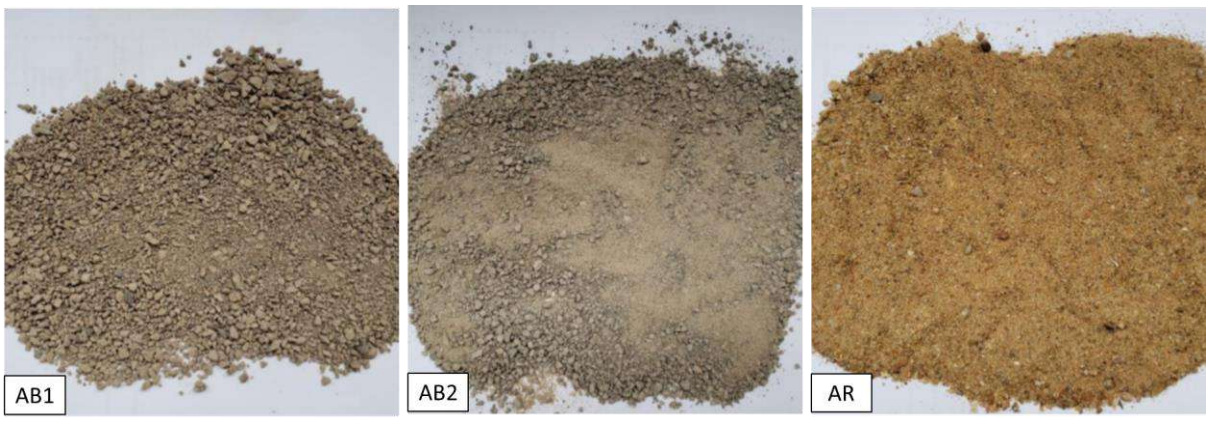



Figura 1: Areias adotadas no programa experimental

As areias empregadas no trabalho foram caracterizadas quanto à composição granulométrica, massa específica, massa unitária e teor de material fino que passa pela peneira de malha 75µm, sendo: a composição granulométrica realizada segundo recomendações da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003c) e, para sua classificação, foi utilizada a norma NBR 7211 (ABNT, 2009); a massa específica das areias foi determinada conforme as recomendações da NBR 9776 (ABNT, 1987): Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman; a massa unitária dos agregados foi determinada utilizado o método C estipulado na NBR NM 45 (ABNT, 2006), este ensaio por sua vez, foi realizado nas areias antes e depois de serem compostas de acordo com a curva granulométrica utilizada no trabalho; e o ensaio para determinação do material fino que passa pela peneira 75 µm foi realizado em todas as areias utilizadas no presente trabalho, seguindo a regulamentação da NBR NM 46 (ABNT, 2003b), utilizando o procedimento A, lavagem com água.

Na sequência foi realizado o peneiramento das areias para que as mesmas fossem compostas segundo a curva granulométrica proposta por Füller (Figura 2), as areias foram peneiradas manualmente e suas frações foram armazenadas

para posterior composição, conforme apresentado na Figura 3. As areias já compostas passaram pela etapa de caracterização novamente.

Após foi realizada a produção da argamassa, sendo estabelecida a consistência de (260±10) mm, que foi medida segundo o procedimento prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Dessa maneira, a relação água/cimento tornou-se uma variável a ser analisada. E então foram moldados conforme NBR 13279 (ABNT, 2005b) nove corpos-de-prova prismáticos de (4x4x16) cm para cada areia estudada. Os corpos de prova foram armazenados em sala climatizada, sendo desmoldados após sete dias, e rompidos com 28 dias.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Composição Granulométrica

As três areias analisadas através do método proposto pela NBR NM 248 (ABNT, 2003c) foram comparadas com a curva proposta por Fuller, além de serem classificadas de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), os resultados e as curvas granulométricas são apresentados na Tabela 1 e Figura 2.

| Peneiras (mm) | Areia de britagem do cone AB1 | | Areia de britagem do VSI AB2 | | Areia natural de rio ARN | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | % retida | % acumulada | % retida | % acumulada | % retida | % acumulada |
| 4,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2,36 | 14 | 14 | 16 | 16 | 5 | 5 |
| 1,18 | 24 | 38 | 32 | 48 | 8 | 13 |
| 0,60 | 23 | 61 | 17 | 65 | 19 | 32 |
| 0,30 | 18 | 79 | 11 | 76 | 37 | 69 |
| 0,15 | 11 | 90 | 10 | 86 | 27 | 96 |
| 0,075 | 6 | 96 | 7 | 93 | 3 | 99 |
| < 0,075 | 4 | 100 | 7 | 100 | 1 | 100 |
| Dimensão máxima característica (mm) | 2,36 | | 2,36 | | 2,36 | |
| Módulo de finura | 2,82 | | 2,91 | | 2,15 | |

Tabela 1: Composição granulométrica das areias

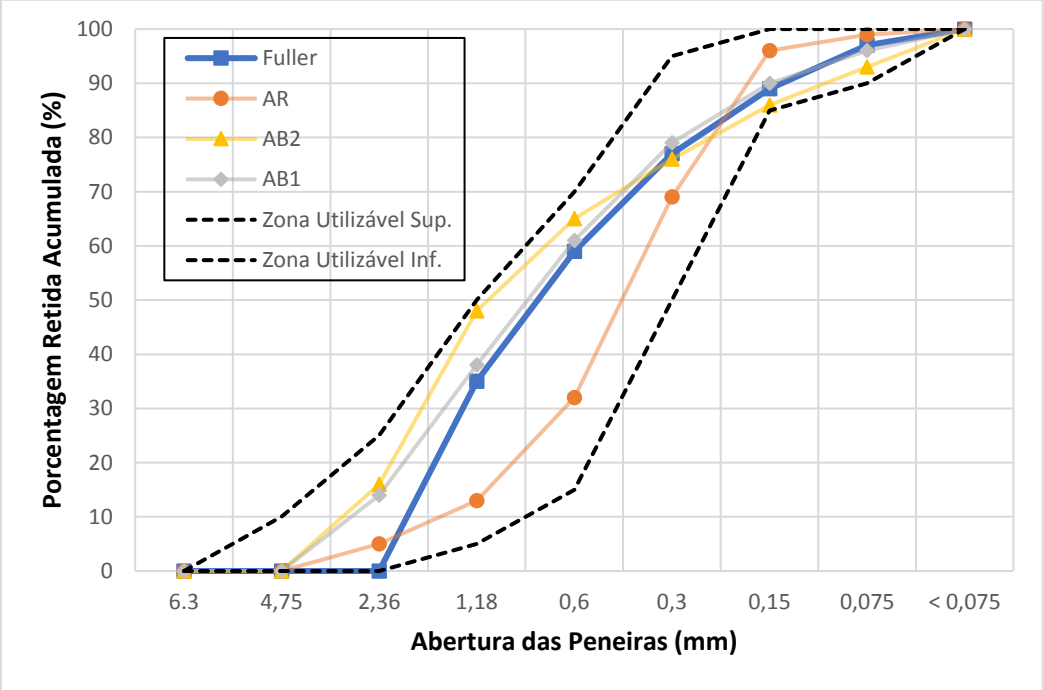



Figura 2: Curva granulométrica

É possível observar que ambas as areias de britagem se encontram dentro dos limites utilizáveis estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009), mesmo em sua granulometria original, a areia natural de rio também encontra-se na zona utilizável, resultado que já era esperado, visto se tratar de uma areia amplamente difundida no mercado da região. As areias apresentam, de modo geral, continuidade nas distribuições dimensionais de seus grãos. Pode-se observar, nas curvas granulométricas, que as areias de britagem (AB1 e AB2) são as que apresentam os maiores teores de fração fina, abaixo de 0,15 mm e maiores teores de material pulverulento. Os resultados obtidos corroboram com outras pesquisas realizadas por Marmentini (2015), Ortigara (2015) e Carasek (2016) que analisaram de areias de britagem semelhantes. Sendo o controle da quantidade de material pulverulento de suma importância na produção de argamassa, visto que este possui influência direta em fissuras e outras patologias geradas devido à retração.

### 3.2 Massa Específica, Unitária, Grau de Compacidade e Coeficiente de Vazios

A massa especifica realizada através do procedimento proposto pela NBR 9776 (ABNT, 1987): Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman não apresentou variações significativas entre as areias em sua granulometria original e composta por Füller, tanto para as areias de origem britada (AB1 e AB2) quanto para a areia natural (AR). Visto que apesar da mudança na granulometria das mesmas, as areias são iguais quanto a sua origem (natural de rio, ou mesma rocha para as britadas) e por consequência deveriam apresentar valores iguais ou aproximados, assim como foi observado.

Entretanto verifica-se influência direta da composição granulométrica em relação a massa unitária dos agregados, fato evidenciado principalmente na areia natural (AR) onde ocorreu um acréscimo de quase 4%, já as areias de origem britada, não sofreram elevada alteração nos valores de massa unitária, visto que a granulometria das mesmas assemelhava-se com a curva proposta, sendo a principal diferença a relação dos teores de finos passantes pela peneira 0,075. Os resultados evidenciados anteriormente estão apresentados nas Figuras 3 e 4.

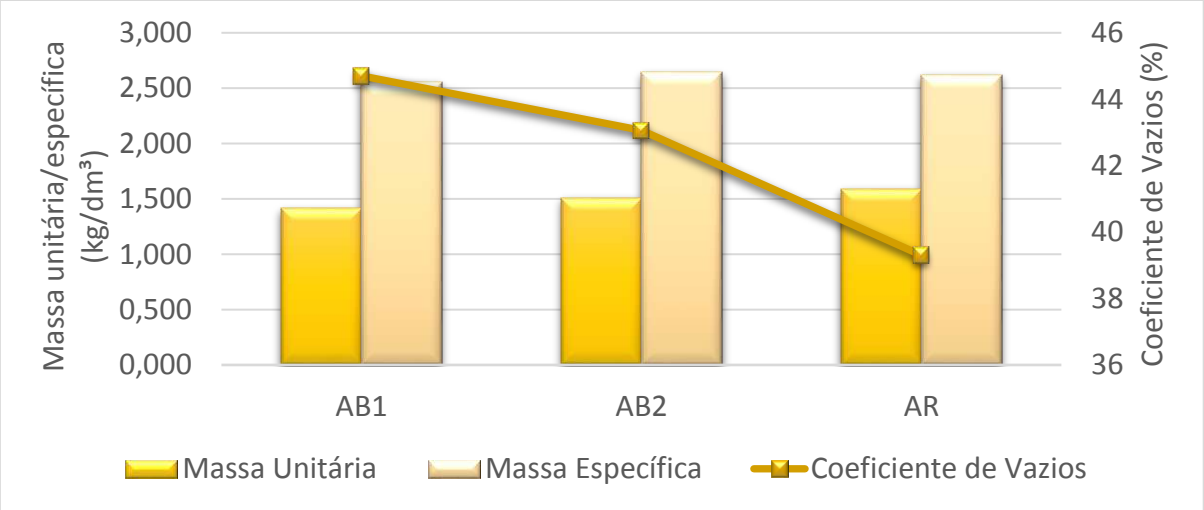



Figura 3: Caracterização das areias com granulometria original

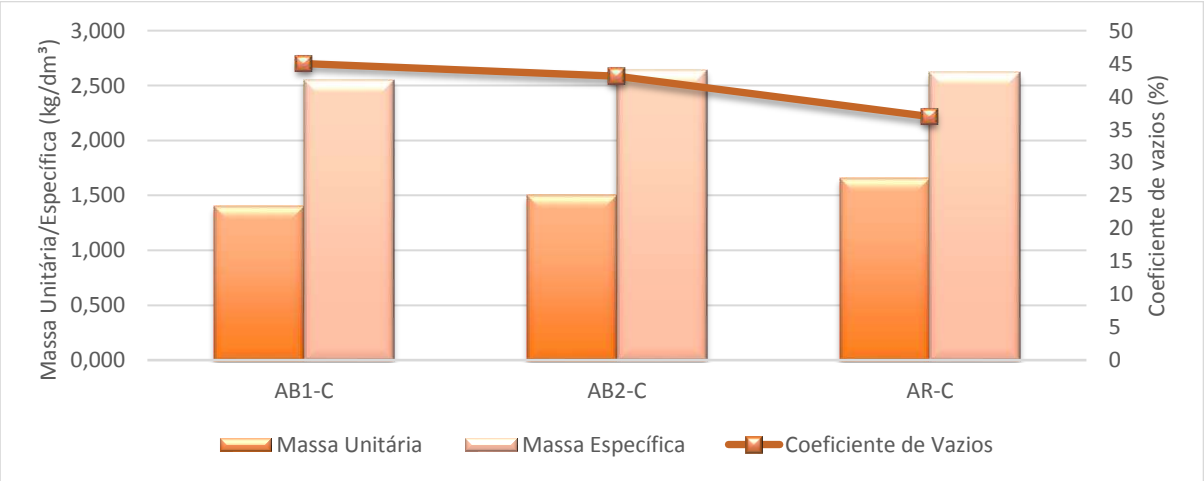



Figura 4: Caracterização das areias com granulometria composta

O coeficiente de vazios, por possuir relação direta com o grau de compacidade dos agregados, e por sua vez, com a massa unitária, apresentou resultados semelhantes, acarretando em variações pouco significativas para as areias AB1 e AB2, enquanto para areia natural verificou-se um ligeiro aumento no grau de compacidade, e por consequência diminuição no coeficiente de vazios, como fica exemplificado na Tabela 2 e Figuras 3 e 4.

| Ensaios | AB1 Original | AB1 Composta | AB2 Original | AB2 Composta | AR Original | ARN Composta |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Massa Unitária (kg/dm³)** | 1,412 | 1,404 | 1,503 | 1,502 | 1,590 | 1,652 |
| **Massa Especifica (kg/dm³)** | 2,553 | 2,553 | 2,641 | 2,641 | 2,620 | 2,620 |
| **Grau de Compacidade (%)** | 55% | 55% | 57% | 57% | 61% | 63% |
| **Coeficiente de Vazios (%)** | 45% | 45% | 43% | 43% | 39% | 37% |

Tabela 2: Caracterização das areias

### 3.3 Densidade De Massa

Conforme verificação de resultados observa-se a densidade de massa no estado endurecido das argamassas produzidas obtiveram pequenas variações em comparação com as mesmas areias utilizadas no trabalho de Ortigara (2015), porém sem controle da granulometria, verificou-se aumento de densidade nas razões de 2,7% para AB1, 2,3% para AB2 e 0,3% para areia de rio. Este fato está relacionado com a elevada presença de finos nas areias britadas, que por sua vez, tiveram sua granulometria ajustada, desse modo causando alterações em relação à densidade, pois conforme Arnold (2011) o acréscimo de material fino na mistura ocasiona aumento da densidade, ou seja, fração fina gera maior índice de pasta e ocupa os vazios presentes.

A diferença entre os valores encontrados para as diferentes areias é justificada pela forma do grão do agregado, visto que com a homogeneização da curva granulométrica, esta não deveria influenciar na diferença entre as densidades, de modo que a diferença se justifica por outros fatores (CARASEK, 2016; MELO, 2018; HICKEL, 2018).

### 3.4 Resistência Mecânica

Verificou-se que a resistência mecânica apresentou resultados satisfatórios quando comparados com valores da literatura. Os valores encontrados na pesquisa estão expressos na Tabela 3, esses dados foram comparados principalmente com valores obtidos por autores como Arnold (2011) e principalmente Ortigara (2015) visto que os materiais utilizados como agregado miúdo, fator de analise deste estudo, possuem origem da mesma região, facilitando a verificação da influência que a alteração na curva granulométrica dessas areias causa no resultado final de resistência mecânica das argamassas.

| Areia | Densidade de massa (g/cm³) | Resistência à tração (MPa) | Resistência à compressão (MPa) |
|---|---|---|---|
| **AB1** | 1840 | 0,76 | 4,7 |
| **AB2** | 1943 | 0,95 | 5,8 |
| **AR** | 1984 | 0,79 | 5,3 |

Tabela 3: Densidade de massa e resistência mecânica das argamassas

Desse modo foi possível observar aumento significativo na resistência mecânica das argamassas, principalmente no que se refere a resistência à compressão, obtendo-se um acréscimo de 21% nas argamassas produzidas com areia do tipo AB1, 24% com areia AB2 e 22% nos corpos de prova com areia natural (AR), a elevada variação nas resistências entre os diferentes tipos de agregados analisados se justificam pois além da curva granulométrica que foi fixada neste trabalho, há diversos outros fatores que influem diretamente nas propriedades das argamassas, sendo as características que mais distinguem as areias de britagem das areias de rio são a forma dos grãos, geralmente angulosa e com baixo grau de arredondamento; o elevado teor de material pulverulento; além da diferença de distribuição granulométrica (KAZMIERCZAK, 2015; MELO, 2018; GUACELLI, 2010; ROSA, 2013).

## 4. CONCLUSÃO:

Concluiu-se que a pesquisa contribui para geração de produtos, aplicáveis à engenharia civil, que garantam desempenho, maior durabilidade e menor custo, além de utilizar insumos menos agressivos ao meio ambiente, buscando eficiência no que se refere ao desenvolvimento sustentabilidade aplicado na engenharia.

O programa experimental permitiu observar que a utilização de distribuição granulométrica adequada garante a melhoria de propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, observou-se que aliado a composição granulométrica, diversos outros fatores exercem influência significativa nos parâmetros analisados nas argamassas, verificando-se elevada variação nos resultados encontrados para os diferentes tipos de agregados utilizados, ainda que compostas com a mesma curva granulométrica. Em comparação com os resultados apresentados pela literatura da área, analisou-se uma diferença relativamente significativa quanto a massa unitária dos agregados, já em relação aos parâmetros de densidade de massa no estado endurecido as diferenças foram pouco significativas, porém ao analisarmos os fatores de resistência a compressão, observou-se elevado aumento nesta propriedade da argamassa, outro importante fator a se destacar é o controle do material pulverulento presente na mistura com a utilização de uma granulometria pré-definida, fator que possibilita a utilização de agregados de origem britada diminuindo os riscos de fissuração e diversas outras patologias relacionas a retração excessiva causada pelo elevado teor de finos presente originalmente nestes agregados.

## 5. REFERENCIAS

ARNOLD; D. C. M. Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas. 2011. 185p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5753: Cimento Portland - Ensaio de pozolanicidade para cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175: Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados – determinação da massa unitária e dos espaços vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: Agregados – determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003b.

BAUER, E. Revestimentos de Argamassa. Características e Peculiaridades. 2. ed. Brasília: LEMUnb; Sinduscon, 2005. 92 p.

CARASEK, H. "Argamassas". In: Isaia, G.C. (ed.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, São Paulo, IBRACON, pp. 892-944, 2010.

CARASEK, H. C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. 1 v. 795 p.

CARASEK, Helena et al . Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro , v. 21, n. 3, p. 714-732, 2016 . <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0068>

CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades das argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) - Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

FOCHESATTO, T. Avaliação da utilização da areia de britagem em argamassa de revestimento. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2014.

GUACELLI, P. A. G. Substituição da areia natural por areia de britagem de rocha basáltica para argamassa de revestimento. 2010. 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

KAZMIERCZAK, C. de S.; ROSA, M.; ARNOLD, D. C. M. Influência da adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 2,p. 7-19. 2016

LODI, V. H., PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R. Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó - SC. In: Workshop Desempenho de Sistemas Construtivos, Uno Chapecó, Chapecó, SC, novembro de 2006

LONDERO, C. et al . Determinação da densidade de empacotamento de sistemas granulares compostos a partir da areia normal do IPT: comparação entre modelos de otimização de distribuição granulométrica e composições aleatórias. Cerâmica, São Paulo , v. 63, n. 365, p. 22-33, mar. 2017 .

MARMENTINI, L. Influência Da Forma Dos Grãos Da Areia De Britagem Em Propriedades Do Concreto Convencional. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

MELO, R. H. R. Q. Avaliação do uso de areia de britagem para produção de argamassa. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

ORTIGARA, B. B. Influência da forma dos grãos nas propriedades de argamassas produzidas com areia natural e de britagem. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B. Características das Areias de Basalto que Influenciam nas Propriedades das Argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, INTERNACIONAL SYMPOSIUM. ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005.

POWERS T.C., The properties of fresh concrete, John Wiley & Sons, New York (1968).

ROSA, M. Análise do efeito do teor de microfinos nas propriedades das argamassas de revestimento com utilização de areia de britagem basáltica. São Leopoldo, 2013. 113 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

SAHMARAN, M.; LACHEMI, M.; HOSSAIN, K. M. A.; RANADE, R.; LI, V. C. Influence of aggregates type and size on ductility and mechanical properties of engineered cementitious composites. ACI Materials Journal, v. 106, n. 3, p. 308-316, May.-Jun., 2009. <http://dx.doi.org/10.14359/56556.>

TRIGUEIRO, A. Mundo sustentável 2. São Paulo: Globo, 2012.

WONG V., K.W. Chan, A.K.H. Kwan, Org. Technol. Manag. Constr. 5 (2013) 844

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.
The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AREIA VERDE DESCARTADA DE FUNDIÇÃO: POTENCIALIDADE DO SEU USO EM CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA

**Rodrigo Padilha dos Santos**
Av. Cel. Bráulio de Oliveira, 1400 - Bairro Central - CEP: 98787-740 Santa Rosa/RS - Telefone: (55)2013-0200
rodrigo.padilha@iffarroupilha.edu.br
**Francieli Tiecher Bonsembiante**
Rua Senador Pinheiro Machado, 304. CEP 99070-220 Passo Fundo/RS.
francieli.bonsembiante@imed.edu.br

***Resumo:*** *O presente artigo apresenta os resultados de uma pesquisa realizada com areia descartada de fundição aplicada em alternativa ao uso de agregado miúdo em concreto de alta resistência (CAR). A areia descartada de fundição é um resíduo gerado pela indústria de fundição na produção de peças metálicas, A areia é usada para fazer os moldes das formas onde é vertido o metal líquido para formação das peças desejas conforme projeto. Após exaurir as propriedades desejadas, a areia é descartada em aterros industriais, pois apresentam grande potencial poluidor. Visando mitigar o descarte de resíduo optou-se por pesquisar os efeitos da adição deste resíduo em um CAR, tendo em vista que a construção civil é um ramo industrial que possui boa aceitação da reutilização de resíduos de outros ramos industriais. A aplicação do resíduo em CAR foi pensado pelo ele ser um material rico em sílica, o que poderia ser bem aceito no concreto, tendo em vista sua granulometria miúda poderia influenciar positivamente na durabilidade do concreto. Como pesquisa inicial optou-se por realizar dois traços com substituição do agregado miúdo convencional por areia descartada de fundição e um traço de referência para avaliar o resultado na resistência a compressão axial. Após cura por 28 dias os resultados foram otimistas, com adição até 23% o concreto apresentou um bom comportamento comparado com o traço de resistência. No entanto, o traço com alto percentual de areia descartada de fundição, 80%, não apresentou bons resultados se comparado com o traço de referência.*

***Palavras chave:*** *Areia descartada de fundição, resíduo, concreto, compressão axial.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem se mostrado um ótimo destinatário de resíduos de outros ramos industriais. A reutilização de Areia Descartada de Fundição (ADF) em concreto pode apresentar bom comportamento técnico por tratar-se de um material rico em sílica e econômico, considerando que sua destinação, após exaurir suas propriedades requeridas para indústria da fundição, é aterro industrial gerando custo as indústrias. Outros estudos já analisaram a aplicação da ADF como alternativa parcial ao agregado miúdo, tais como: Khatib, Herki e Kenai (2013); Salokhe e Desai (2011) com resultados satisfatórios.

Acredita-se que a ADF seja um dos resíduos industriais com maior volume de geração. Conforme dados da Associação Brasileira da Fundição (ABIFA), só o Brasil produziu aproximadamente 2.280.000 toneladas de fundidos no ano de 2018. Para produção deste quantitativo de fundidos muita areia foi necessária para confecção dos moldes onde o aço fundido foi despejado e, após alguns ciclos de uso, foi descartada em aterros industriais.

Estima-se que a geração de resíduo na fundição esteja entre 0,8 a 1 tonelada por tonelada de peça fundida, ou seja, considerando a produção do ano de 2018 a geração de resíduo é considerável. Essa geração de resíduo nas indústrias de fundição é inevitável pois, para produzir os artefatos de ferro fundido, é necessário o emprego de materiais que posteriormente deverão ser descartados.

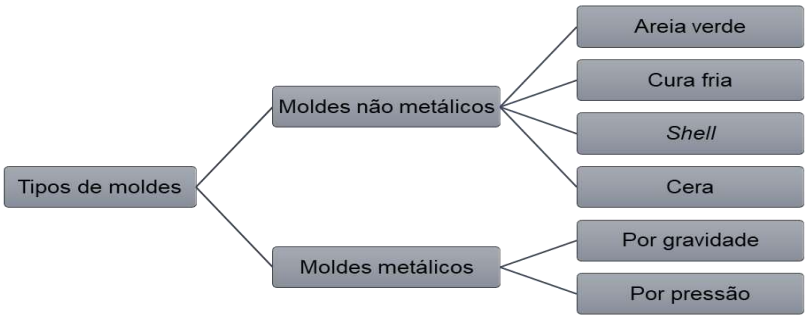
De acordo com Khan *et al.*, (2018) o derramamento do metal fundido a temperaturas maiores que 1000ºC nos moldes desativa a função do ligante a base de bentonita. Esse ligante desativado forma um revestimento que envolve os grãos de areia. Para reutilização da areia na produção de novas formas deve ser novamente adicionado ligante a mistura.

Após desmoldar as peças fundidas a areia de fundição retorna para linha de produção para iniciar o processo de reciclagem, porém, com alguns ciclos de moldagem e desmoldagem a areia perde as propriedades requeridas para fundição. A literatura mostra que a areia pode ser utilizada por cerca de 6 a 10 moldagens, quando passa a ser considerada uma ADF (GUNEY, AYDILEK E DEMIRKAN, 2006; JOSEPH, BANGANAYI E OYOMBO, 2017).

Em decorrência de legislação restritiva, bem como apelo social, as indústrias buscam continuamente por alternativas de reuso da areia residual do processo de fundição, a fim de restringir seu descarte aos aterros industriais Chegatti (2012); Siddique, Schutter e Noumowe (2009).

Segundo Casotti; Filho e Castro (2011) o processo de moldagem da peça a ser fundida depende da precisão dimensional requerida, do acabamento desejado e de propriedades mecânicas necessárias. Os tipos de processos de moldagem podem ser de diversas maneiras conforme esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1. Tipos de moldes e processos de fundição




Fonte: Adaptado de BNDES

Conforme Klinsky (2013) o método mais utilizado para moldagem de peças fundidas é em areia. O processo de moldagem em areia apresenta várias vantagens, como: disponibilidade natural, baixo custo de exploração, boa refratabilidade, dentre outros.

Conforme Siddique, Schutter e Noumowe (2009) a areia de fundição é um material rico em sílica, no caso da areia verde de fundição, que é utilizada nesta pesquisa, sua composição é de 85-95% de areia de sílica, 4-10% de argila bentonita que é aplicada na mistura para aglomerar a areia na forma de fundição. Além destes, ainda faz parte da composição da areia verde de fundição o carvão, adicionado para gerar um melhor acabamento as peças fundidas, com percentual variando entre 2-10%.

Considerando a inevitável geração de resíduos da indústria de fundição, bem como as características do resíduo, esta pesquisa visa avaliar a potencialidade do reuso de Areia Verde Descartada de Fundição (AVDF) em concreto de alta resistência. Alguns exemplos de sucesso do uso de resíduos na construção civil são a sílica ativa (FALLAH E NEMATZADEH, 2017; KHODABAKHSHIAN *et al.*, 2018), escória de alto-forno (LI e LI, 2018; SENANI *et al.*, 2018), cinza de casca de arroz (GILL E SIDDIQUE, 2018; UMASABOR E OKOVIDO, 2018) dentre outros.

Conforme Roy *et al.*, (2019) estabilizar um resíduo por meio de reutilização de maneira que dificulte sua mobilizadade no meio ambiente é um dos processos aplicados para evitar o depósito de resíduos em aterros industriais. Uma possibilidade de estabilização de resíduos é a sua adição em concreto.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Materiais

Como agregado natural foram utilizados na pesquisa areia média, aria industrial e, como agregado graúdo, brita 1 de origem basáltica, adquiridos no comércio local da cidade de Passo Fundo – RS.

A AVDF empregada na pesquisa é proveniente da empresa Kuhn do Brasil S/A Implementos Agrícolas, e foi coletada no mês de dezembro de 2018. A empresa produz peças para máquinas agrícolas e utilizada a areia verde como material para moldagem de formas em seu processo de fundição.

Após a coleta, o resíduo foi levado ao Laboratório de Materiais de Construção, onde inicialmente foi realizado peneiramento para retirada de torrões maiores presentes no resíduo, conforme Figura 2. A peneira utilizada para passagem da AVDF foi a 1,18mm.

Figura 2. AVDF utilizada




Fonte: Autor

Após peneiramento da AVDF foi realizado o ensaio de granulometria dos materiais, os resultados estão dispostos na Tabela 1. A caracterização granulométrica foi realizada conforme estabelece a NM 248 (ABNT, 2003).

Tabela 1. Distribuição granulométrica dos agregados miúdos

| **Peneira (mm)** | **Percentagem retida acumulada (%)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Areia natural** | **AVDF** | **Areia industrial** |
| 6,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4,75 | 1,00 | 0,00 | 0,72 |
| 2,36 | 2,00 | 0,00 | 17,50 |
| 1,18 | 5,00 | 2,00 | 43,10 |
| 0,6 | 24,00 | 3,00 | 61,60 |
| 0,3 | 78,00 | 27,00 | 75,44 |
| 0,15 | 95,00 | 92,00 | 86,10 |
| < 0,15 | 100,00 | 100,00 | 100 |
| Módulo de finura | 2,05 | 1,24 | 2,85 |
| Dimensão máxima característica | 1,18 | 0,6 | 4,75 |

Fonte: Autor

Como verifica-se na Tabela 1 o módulo de finura (MF), obtido pela soma das percentagens de areia retidas acumuladas nas peneiras de série normal dividido por 100, apresentou valores abaixo do esperado para areia média que deveria estar como um MF > 2,4, ou seja, a areia adquirida por areia média na verdade trata-se de uma areia fina. Fato este que não se repete para a areia industrial, que teve ser módulo de finura adequado para uma areia média.

Para definição do traço foi realizada verificação de massas específica e unitária, conforme padroniza NBR 9776 (ABNT, 1987) e NM 45 (ABNT, 2006) respectivamente.

Conforme Mehta e Monteiro (2014) o espaço ocupado pelas partículas do agregado incluindo os poros existentes dentro das partículas por unidade de volume é a massa unitária, que é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. Já a massa específica também trata tem relação a quantidade de material em um determinado volume, porém desconsiderando-se o volume dos poros existentes nas partículas.

Os resultados verificados de massas unitárias e específicas dos agregados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Massas específicas e unitárias dos agregados

| Material | Massa unitária (g/cm³) | Massa específica (g/cm³) |
|---|---|---|
| Areia natural | 1,525 | 2,570 |
| Areia industrial | 1,280 | 2,110 |
| AVDF | 1,330 | 2,200 |
| Brita | 1,450 | 2,650 |

Fonte: Autor

Com base nas Tabela 1 e Tabela 2, constata-se que a AVDF é um material extremamente pulverulento e leve. É consenso entre os pesquisadores da areia de materiais que quanto menor o grão de um agregado maior será sua área específica e, consequentemente, maior será a necessidade de água para amassamento.

Para a moldagem dos corpos de prova da pesquisa foi utilizado aditivo superplastificante, com intuito de reduzir a quantidade de água necessária para a mistura. A relação água/cimento (a/c) da mistura foi de 0,45.

Para esta pesquisa será utilizado cimento CPV - ARI RS. CPV – ARI normalmente são aplicados por indústrias de pré-moldados e artefatos de concreto, onde deseja-se o aumento da produtividade associado a resistências elevadas nas primeiras horas de cura. A sigla RS está relacionada a resistência a sulfatos que este tipo de cimento possui, optou-se por utilizar este cimento em função de outras pesquisas que serão realizadas com o concreto produzido por esta pesquisa.

Os resultados da caracterização do cimento foram disponibilizados pelo fabricante conforme verifica-se na Tabela 3.

Tabela 3. Especificação técnica cimento CPV-ARI RS

| Físicas | | | Químicas | |
|---|---|---|---|---|
| Massa específica (g/cm³) | | 3,02 | MgO (%) | 5,9 |
| Tempo de pega (min) | Início | 216 | SO3 (%) | 2,7 |
| | Fim | 250 | RI (%) | 11,2 |
| Consistência (%) | | 29,25 | Perda fogo (%) | 3,9 |
| Blaine (cm²/g) | | 5010 | | |
| Finura (%) | #200 | 0,0 | | |
| | #400 | 1,0 | | |
| Resistência à compressão (MPa) | 1 dia | 22,3 | | |
| | 3 dias | 33,7 | | |
| | 7 dias | 38,5 | | |
| | 28 dias | 46,9 | | |

Fonte: Adaptado de boletim de ensaios de cimento Votorantim

## 2.2 Método

O traço definido para confecção do concreto de alta resistência (CAR) foi de 1:2,30:2,50 (em massa), considerando o teor de argamassa fixado, de 53%. A relação a/c também foi fixada, 0,45. Considerando a baixa relação de a/c e a finura da AVDF, foi adicionado aditivo superplastificante 1% (percentual calculado sobre a massa de cimento)

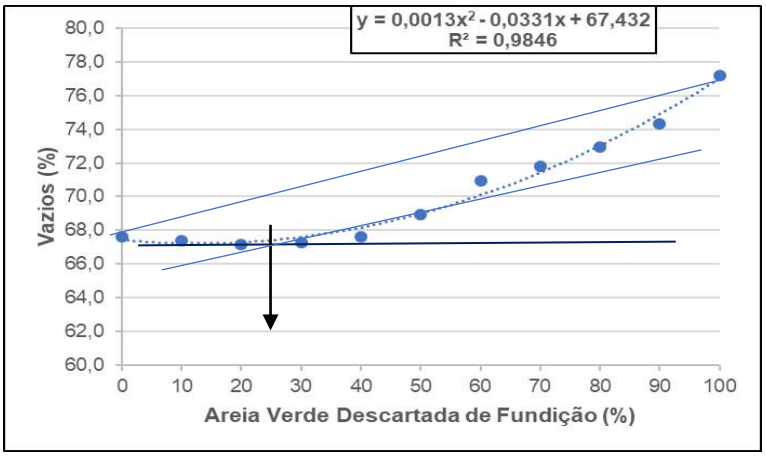
Foram moldados corpos de prova com traço de referência (sem AVDF), com teor ideal de AVDF e um traço com 80% de AVDF para avaliação da influência de uma elevada quantidade do resíduo na mistura.

Para determinar o teor ideal de substituição de areia natural por AVDF, foi adotada a metodologia proposta por Recena (2011). O método é baseado na avaliação do melhor empacotamento granulométrico, a partir das massas unitárias de diversas misturas de ambos os agregados. Para tanto, foram feitas determinações de massa unitária de diversas substituições de areia natural pela AVDF. Foram avaliadas misturas com 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% de substituição, em massa.

De posse dos resultados de massa unitária foi traçado um gráfico relacionando o valor obtido com percentual de substituição. Para obtenção do teor ideal de substituição, primeiramente traçou-se uma reta paralela ao eixo das abcissas, passando pelo ponto máximo da curva e outra reta unindo o ponto mínimo e o ponto máximo da curva. A partir da reta 2, traça-se uma terceira reta, paralela a esta, porém posicionada em um ponto tangente à curva (reta 3).

Segundo o método proposto de Recena, onde as retas 1 e 3 se cruzam tem-se o teor ideal de substituição de areia natural por AVDF. Na Figura 3 verifica-se o gráfico que auxiliou na definição do percentual de substituição do agregado miúdo por AVDF.

Figura 3. Gráfico de definição de teor de substituição de agregado miúdo por AVDF




Fonte: Autor

Como verifica-se na Figura 3 o percentual ideal de substituição foi de aproximadamente 23%, com isso os traços foram produzidos conforme verifica-se na Tabela 4.

Tabela 4. Relação de materiais por traço pesquisado

| Traço | Cimento (kg) | Areia média (kg) | Areia industrial (kg) | AVDF (kg) | Brita (kg) | Consumo de cimento (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Referência | 1 | 1,15 | 1,15 | 0 | 2,50 | 360 |
| 23% AVDF | 1 | 0,9 | 0,9 | 0,5 | 2,50 | |
| 80% AVDF | 1 | 0,25 | 0,25 | 1,80 | 2,50 | |

Fonte: Autor

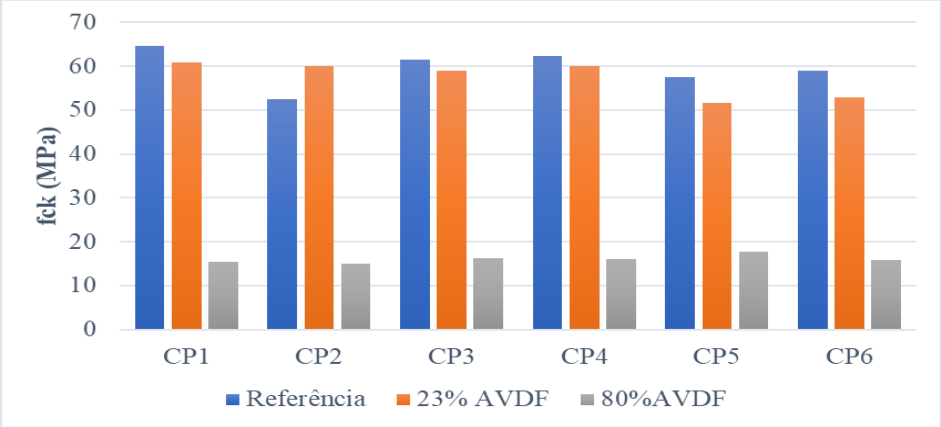
Apesar de não ter sido realizado ensaio de abatimento, verificou-se que quanto maior foi a adição de AVDF menos fluido o concreto se tornava. Inicialmente a pesquisa definiu análise de resistência a compressão axial, apenas.

Para tanto foram moldados 6 corpos de prova de dimensões (10x20) cm. Conforme padroniza a NBR 5738 (ABNT, 1994) os corpos de prova foram rompidos aos 28 dias de cura, sendo cura inicial de 24 horas em sala úmida e o restante, após desmolde e identificação, submersos em água saturada com cal.

## 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Ao romper os corpos de prova aos 28 dias de cura os resultados obtidos foram conforme verificar-se na Figura **4**.

Figura **4**. Resistência a compressão por traço




Fonte: Autor

Conforme dados apresentados o CAR produzido como traço de referência alcançou uma média de, aproximadamente, 60MPa. Já o concreto produzido com adição de 23% de AVDF apresentou uma média de resistência de 57,4MPa, resistência muito próxima da verificada para o traço referência, apresentou uma perda de, aproximadamente, 5% de resistência.

O traço de concreto com elevado teor de AVDF apresentou uma elevada perda de resistência, com uma média de 16MPa este concreto reduziu sua resistência em, aproximadamente 74% da verificada para o traço de referência.

Pela análise visual dos corpos de prova já era possível inferir que haveria uma perda de resistência, pois os corpos de prova com teor de 80% de AVDF estava apresentando facilidade de desagregação do concreto.

Quanto ao concreto o estado fresco, a consistência do traço que continha 80% de AVDF se mostrava bem coeso e pegajoso, dificultando, inclusive, a moldagem e compactação dos corpos de prova nas formas cilíndricas. O traço com 23% de AVDF foi o concreto de melhor trabalhabilidade e consistência, apresentando facilidade de amassamento, coesão do material.

Um fator verificado na fase de caracterização do material chamou atenção. A areia adquirida por areia média, conforme classificação normativa, trata-se de uma areia fina, pois seu MF de 2,05 está bem abaixo de 2,40 que é o mínimo padronizado pela NBR NM 248 (2003). Ainda, segundo a mesma norma esta areia estaria classificada como areia fina com MF<2,4. Em se tratando de pesquisa de CAR fatores como MF tem influência direta no resultado, ainda mais para os casos dos traços com AVDF que já apresentou um MF fino.

Outra característica que chamou atenção no momento da caracterização do material é que a AVDF possui granulometria uniforme, concentrando-se cerca de 90% da amostra nas peneiras 300 e 150mm, conforme verifica-se na Tabela 1. Esse fato, somado ao baixo MF do agregado miúdo e da AVDF, certamente representa fator importante nos resultados verificados pela pesquisa.

Cabe observar, no entanto, que concretos que apresentam maior quantidade de finos em sua composição diminuem a sua porosidade, aspecto este que pode representar aumento de durabilidade para o elemento moldado com este tipo de concreto.

Pretende-se em nova pesquisa retirar a areia média, mantendo a areia industrial para avaliar a influência. Acredita-se que apresentará melhores resultados tendo em vista que seu MF é elevado, fazendo um contraponto com a AVDF extremamente fina.

Por fim, concluiu-se que o reuso de AVDF em concreto, em função da resistência a compressão, é viável desde que em baixos percentuais. Conclui-se, ainda, que deverá ser realizado novos estudos com areia que apresente MF maior de maneira que, pelo menos, fique compreendido entre os limites de areia média.

## 4. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. "NBR 5738". Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

_____NBR 9776. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro 2003.

_____NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

Chegatti, S. "Estudo da influência da bentonita presente nas areias descartadas de fundição na contaminação do solo e águas subterrâneas". Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - *Universidade Federal de Santa Catarina*, Centro Tecnológico, Programa de pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2012.

Fallah, S.; Nematzadeh, M. "Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume". *Construction and Building Materials*, v. 132, p. 170–187, 1 fev. 2017.

Gill, A. S.; Siddique, R. "Durability properties of self-compacting concrete incorporating metakaolin and rice husk ash". *Construction and Building Materials*, v. 176, p. 323–332, 10 jul. 2018.

Guney, Y.; Aydilek, A. H.; Demirkan, M. M. "Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway subbases". *Waste Management*, v. 26, n. 9, p. 932–945, jan. 2006.

Joseph, M. K.; Banganayi, F.; Oyombo, D. "Moulding Sand Recycling and Reuse in Small Foundries". *Procedia Manufacturing*, v. 7, p. 86–91, 1 jan. 2017.

Khan, M. M. et al. "Reclamation of used green sand in small scale foundries". *Journal of Materials Processing Technology*, v. 255, p. 559–569, 1 maio 2018.

Khatib, J. M.; Herki, B. A.; Kenai, S. "Capillarity of concrete incorporating waste foundry sand". *Construction and Building Materials*, v. 47, p. 867–871, 1 out. 2013.

Khodabakhshian, A. et al. "Durability performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder". *Journal of Cleaner Production*, v. 170, p. 42–60, 1 jan. 2018.

Klinsky, L. M. G. "Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos". Tese (Doutorado em Ciências) - *Universidade de São Paulo*, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes, São Carlos, 2013.

Li, Z.; Li, S. "Carbonation resistance of fly ash and blast furnace slag based geopolymer concrete". *Construction and Building Materials*, v. 163, p. 668–680, 28 fev. 2018.

Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. "Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais". 2. ed. São Paulo: *IBRACON*, 2014.

Recena, F. A. P. "Método de dosagem de concreto pelo volume de pasta com emprego de cinza volante". Porto Alegre.: Tese (Doutorado em Engenharia) - *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 2011.

Roy, A. et al. "Concrete stabilization of arsenic-bearing iron sludge generated from an electrochemical arsenic remediation plant". *Journal of Environmental Management*, v. 233, n. May 2018, p. 141–150, 2019.

Salokhe, E. P.; Desai, D. B. "Application of Foundry Waste Sand In Manufacture of Concrete". *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE*, n. ISSN 2278-1684, p. 43–48, 2011.

Senani, M. et al. "Eco-concrete with incorporation of blast furnace slag as natural aggregates replacement". *Science and Technology of Materials*, v. 30, n. 3, p. 144–150, 1 set. 2018.

Siddique, R.; Schutter, G. De; Noumowe, A. "Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete". *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 2, p. 976–980, 1 fev. 2009.

Umasabor, R. I.; Okovido, J. O. "Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete". *Heliyon*, v. 4, n. 12, p. e01035, 1 dez. 2018.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DOS REJEITOS DA EXTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO EM BARRAGENS E POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Victor Manoel Passaglia**
**Leonardo Menegon Cieslak**
**Mateus Badalotti Santin**
**Suelen Vanzetto**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
vpassaglia@hotmail.com
leonardoc00@hotmail.com
mateusbsantin@gmail.com
suelen@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Um dos grandes problemas encontrados hoje é a geração de resíduos não aproveitáveis. Devido aos grandes problemas causados pelo acúmulo de rejeitos resultantes do beneficiamento do minério de ferro, estudos para a reutilização dos mesmos estão cada vez mais presentes. O Brasil tem sido um dos principais responsáveis pela extração do ferro, e por consequência produtor de materiais inertes armazenados em barragens. Nos últimos anos foram relatados vários rompimentos de barragens, por causas técnicas, porém a reutilização pode colaborar para evitar estes problemas. As propriedades dos materiais encontrados nos compósitos podem ser aplicáveis em várias áreas, a mais proveitosa e responsável por maior reutilização de materiais é a construção civil. Os rejeitos apresentam resultados positivos quando aplicados de forma correta, para isso foram realizados estudos e obtidos resultados satisfatórios, como exemplo a produção de tijolos, estabilização de solos e substituto de agregados para a produção de concretos e argamassas. Essas soluções são avaliadas como sustentáveis, tendo em vista que ambas são tecnicamente viáveis, economicamente positivas e ambientalmente corretas.*

***Palavras chave:*** *Rejeitos. Minério de ferro. Reutilização. Construção civil.*

## 1. INTRODUÇÃO

Por consequência dos impactos ambientais e econômicos causados pelo excesso de resíduos resultantes da produção e extração de produtos, hoje há uma grande necessidade de designar os mesmos com fins sustentáveis. A exploração dos recursos minerais é de grande importância socioeconômica para um país, segundo levantamento feito pelo IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração, entre julho/2017 e junho/2018 a Produção Mineral Brasileira (PMB) ficou em US$ 32 bilhões, o que superou as expectativas estimadas de US$ 25 bilhões. Porém os rejeitos e efluentes decorrentes destes processos são destinados a barragens, as quais podem causar grandes impactos ambientais, citando como exemplo dois acontecimentos recentes a nível nacional, as barragens de Mariana (2015) e Brumadinho (2019).

A indústria da construção civil vem desenvolvendo cada vez mais a ideia do uso de recursos naturais renováveis em suas práticas, o que a torna um dos principais agentes a favor das estratégias ambientalmente e economicamente corretas. Já existem vários fins a esses materiais provenientes da extração de minerais, como aprimorar propriedades geotécnicas dos solos juntamente com a resistência de pavimentação, produtos cerâmicos e ainda a substituição de agregados do concreto. O Brasil hoje, possui 769 barragens de rejeitos cadastradas, destas, 216 são destinadas para as escórias da extração do minério de ferro, 85 do ouro, 26 do cobre e 22 de estanho (ANM - fevereiro/2019).

Devido à grande quantidade de resíduos resultantes da extração do ferro este artigo descreve uma revisão sobre a composição dos rejeitos e quais as possíveis aplicações dentro do mercado da construção civil.

## 2. DISCUSSÃO

### 2.1 Mineração

A mineração é uma das principais atividades econômicas de muitos países, dentre eles o Brasil que hoje tem 1,4% do seu Produto Interno Bruto (PIB) resultante desta atividade, grande parte disso se dá pela extração do minério de ferro, a rocha a qual origina o ferro em sua condição metálica, o que é importante economicamente (Mourão & J.

Murilo, 2008). Os estados de Minas Gerais (51,6%) e Pará (32%) lideram esta atividade num âmbito nacional, que ao longo dos últimos anos tornou-se muito promissora, onde foram extraídos 3,4 bilhões de toneladas no mundo deste minério, e o Brasil representou 11,4% disto atingindo 428 milhões de toneladas (Ibram, 2018).

O processo extrativo do minério de ferro é composto de várias etapas, sendo a primeira chamada de "lavra" que é a retirada de fragmentos de rochas podendo ser por raspagem, com escavadeiras ou também fazendo o uso de explosivos. Posteriormente estes fragmentos, onde há basicamente uma mistura dos minérios e de terra, são encaminhados à usina e reduzidos a materiais menores, dispostos a peneiras de diferentes granulometrias esguichadas por água, este processo é responsável por separar os minérios dos rejeitos. Ainda após isso o material passa por processos de refinamentos e preparado para a comercialização em sua forma metálica (Bezzera, 2017). Na Figura 1 podem ser demonstrados os processos do beneficiamento do minério de ferro.

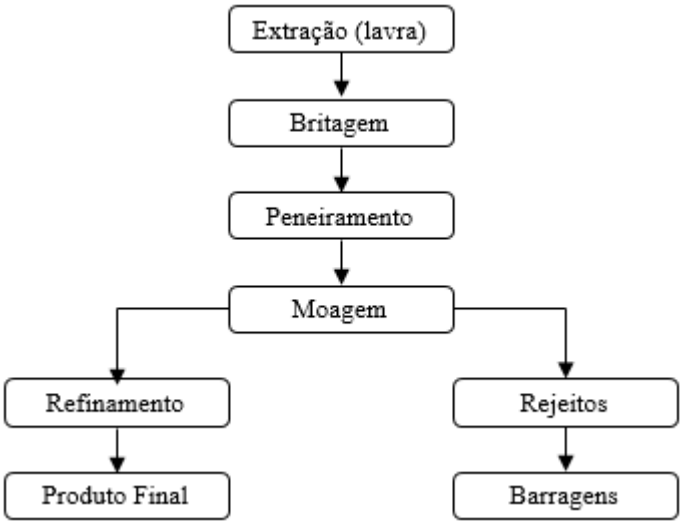



Figura 1. Fluxograma de Extração do Minério de Ferro.
Fonte: Adaptado de Bezzera, 2017

### 2.1.1 Caracterização do Minério de Ferro

Entende-se por minério de ferro toda e qualquer rocha da qual possa ser extraído o ferro em sua forma economicamente viável. Tendo em vista isto pode-se classificar a rocha, com nomes e composições distintas que não necessariamente tenham só ferro como matéria de extração (Andrade, 2014). Alguns destes minerais estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização de fórmula química e conteúdo teórico de ferro (em %) dos principais minerais portadores de ferro.
Fonte: Carvalho et al., 2014

| Mineral | Fórmula Química | Conteúdo Teórico de Ferro |
|---|---|---|
| Magnetita | Fe3O4 | 72,4 |
| Hematita | Fe2O3 | 69,9 |
| Geothita | Fe2O3 H2O | 62,9 |
| Limonita | 2Fe2O3 3H2O | 59,8 |
| Ilmenita | FeTiO3 | 36,8 |
| Siderita | FeCO3 | 48,2 |
| Pirita | FeS2 | 46,5 |
| Pirrotita | Fe(1-x)S | 61,0 |

O ferro está na quarta posição quando argumenta-se sobre quantidade na superfície terrestre, e/ou por consequência disso também está entre os metais mais utilizados pelo homem. O ferro a temperaturas ambientes se encontra no estado sólido, por ser reativo não é encontrado na sua condição mais usada, está sempre ligado quimicamente a outros elementos.

### 2.2 Rejeitos da Extração do Minério de Ferro

Ao longo dos anos, com o aumento da atividade extrativista, não só no Brasil, mas em todo o mundo, tornou-se necessária a designação dos restos compostos descartados no processo de separação do material mineral de sua forma natural. Estes restos podem ser caracterizados como estéreis e rejeitos. Ambos são definidos como todo e qualquer material não aproveitável economicamente, porém os estéreis são decorrentes do processo de extração mineral e os rejeitos do beneficiamento do mesmo (ABNT, 2006).

Brevemente pode se explanar sobre o primeiro dos substratos gerados na extração das jazidas superficiais ou internas, basicamente composto por terra e materiais não poluentes a natureza, sendo assim facilmente destinados a aterros, modificações de relevos e também empilhados próximo ao seu lugar de origem, e para que isso não cause problemas são plantadas árvores em sua superfície evitando possíveis desmoronamentos e graves danos ambientais, (Bezerra, 2017).

Os rejeitos, apesar de também serem compostos basicamente pelo mesmo material argiloso, por estar entre o processo de britagem e moagem ainda pode ser composto de elementos ferrosos em pequena quantidade, o que não permite que o mesmo seja devolvido ao meio natural, e a solução encontrada para a sua destinação são as barragens de rejeitos (Neves, 2016).

#### 2.2.1 Caracterização dos Rejeitos do Minério de Ferro

No Brasil o principal minério de extração de ferro, por ser mais abundante, e possuir uma concentração do material acima dos demais citados anteriormente, perdendo apenas para a magnetita, é a hematita. Por consequência do aumento da demanda de ferro no mercado, minérios com concentrações inferiores do elemento tem sido cada vez mais explorado, até mesmo os que possuem menos de 30% em sua composição. Com isso ocorre o aumento da produção dos materiais inertes, afetando a área das barragens o que contribui para possíveis catástrofes ambientais (Andrade, 2014).

Os acúmulos resultantes do processo de extração, pode ser variado conforme o tipo de minério e o método de beneficiamento do mesmo. As barragens brasileiras apresentam grande quantidade de lamas (Machado, 2007), compostas com cerca de 60% de líquidos (água, usada no processo de peneiramento) e 40% de sólidos. A indústria mineralógica classifica os rejeitos por meio de sua granulometria, grossos acima dos 50 μm, finos acima de 10 μm e ainda ultrafinos menores que isso (Bezerra, 2017). De acordo com estudos, na Tabela 2 estão dispostos minerais encontrados nos rejeitos da mineração do ferro.

Tabela 2. Composição química dos minerais normalmente encontrados em rejeitos da mineração de ferro.
Fonte: Andrade, 2014

| Mineral | Fórmula Química | Composição |
|---|---|---|
| Caulinita | Al2Si2O5(OH)4 | Silicato de alumínio hidratado:39,5% de **Al2O3**, 46,5% de **SiO2** e 14% de **H2O** |
| Gibbisita | Al(OH)3 | Hidróxido de alumínio: 65,4% de **Al2O3** e 36,6% de **H2O** |
| Goethita | FeO(OH) | Óxido de ferro hidratado: 90,0% de **Fe2O3** e 10% de **H2O** |
| Hematita | Fe2O3 | Óxido de ferro: 70,0% de **Fe** e 30% de **O** |
| Magnetita | Fe3O4 | Óxido de ferro: 31,0,0% de **FeO** e 69% de **Fe2O3** |
| Quartzo (sílica) | SiO2 | Óxido de silício: 46,74% de **Si** e 53,26% de **O** |

### 2.3 Rejeitos Na Construção Civil

Além de colaborar com o meio ambiente e diminuir a propensão a tragédias o reaproveitamento de rejeitos ainda pode ser economicamente positivo. Existem várias maneiras de reutilização no mercado, mas pode se dizer que o mercado da construção civil é o mais influente e que mais pode se beneficiar destes materiais resultantes.

Yellishetty et al. (2008) realizaram estudos aos quais foram considerados os materiais estéreis de antes do beneficiamento do minério e após o mesmo, os rejeitos. No estudo constatou-se que estes compostos podem ser utilizados positivamente na construção civil e ainda definiu-se, pela granulometria, que são adequados para o uso como agregado em concretos, as partículas com diâmetros de 12,5 a 20 mm, para argamassas em geral diâmetros de 4,75 a 12,5 mm e inferiores a 4,75 mm para produção de tijolos.

### 2.3.1 Produção de Tijolos Maciços

Devido aos acontecimentos dos últimos anos no estado de Minas Gerais, a fim de colaborar a diminuição das barragens de rejeitos, e ainda reutilizar os compósitos de maneira positiva na construção civil Assis et. al. (2018) iniciaram estudos para a produção de tijolos maciços. Inicialmente três concentrações de RBMF (Rejeito de Barragem de Mineração de Ferro, termo usado pelos autores) foram utilizadas para a produção dos tijolos 10%, 25% e 50%. A proporção de areia e argila foram dispostas as mesmas das quantidades das produções convencionais 50% para cada. Nas análises granulométricas foram constatados que os materiais inertes apresentavam partículas menores do que as de areia e argila, isso por que são ricos em óxido de ferro, e também nos ensaios de massa unitária dos materiais o mesmo apresentou valores superiores. Essas propriedades interferem na plasticidade, trabalhabilidade e resistência do produto final.

Nos testes realizados de compressão simples o que apresentou melhor resultado foi o composto com 25% de RBMF, seguido pelo tijolo convencional, sem o uso dos rejeitos, e por último o que possui concentração de 50%, todavia, os quatro blocos ficaram acima da resistência de 1,5 MPa, necessária para o uso, como determinado pela NBR 15270-1 (Assis et. al. 2018).

Bezzera (2017) também cita sobre estudos realizados pela Universidade West Virginia e a Colorado School of Mines para a fabricação e aplicação de tijolos, feitos a partir de resíduos de extração de minérios nas regiões de Colorado.

### 2.3.2 Estabilização de solos para Pavimentação

Gratão et. al. em 2006 iniciaram um estudo visando a minimização de resíduos gerados pela extração de minério de ferro. A proposta sugerida foi voltada a área da geotécnica, onde basicamente foi uma aplicação com finalidade de estabilizar e aumentar a resistência de solos para a pavimentação, onde o material inerte foi adicionado a uma amostra de solo e designado a análises quanto suas propriedades. Como amostragem utilizaram solos provenientes da região central do país, no Distrito Federal, e rejeitos das regiões do Quadrilátero Ferrífero, mais especificamente do Complexo de Águas Claras, MG, para a realização de ensaios de compressão simples e compactação.

Como citado pelos autores anteriores, já era de esperar um aumento no peso específico do composto, devido à maior quantidade de materiais finos presentes no rejeito, também a diminuição significativa do teor de umidade ótima e a redução da plasticidade do solo o que o torna potencialmente aplicável como base de pavimentação, tendo em vista que o material tem um alto índice de trabalhabilidade, o que é ideal para este tipo de situação. Outro ponto considerável é o aumento da resistência à compressão simples onde o mesmo teria uma ascensão com cerca de 70% da sua resistência inicial com o acréscimo de 25% de rejeito no composto.

Ainda para complementar a positividade da aplicação, em maio de 2018 a ANTT publicou um relatório do estudo de viabilidade da aplicação de rejeitos de minério de ferro na pavimentação voltada para a fase de projetos, pela sua divisão de Rede de Pesquisas Aplicadas à Pavimentação, o que também constatou que estes materiais têm muito a contribuir com a área e ainda sugeriu continuações para estudos na etapa de execução e aplicação prática do mesmo.

### 2.3.3 Agregados Para Concretos e Argamassas

Para a produção de concreto e argamassa os rejeitos podem vir a contribuir muito no mercado da construção civil, o mesmo pode servir como substituto para agregado graúdo e miúdo. Franco et. al. (2014) comenta em suas análises granulométricas que as partículas finas do material inerte se encontram abaixo do limite admitido pela norma, já o graúdo se compara ao tamanho da brita 1. Mais uma vez sua massa específica é elevada comparada a dos materiais normalmente utilizados, devido a presença de partículas ferrosas.

Quanto a ensaios de compressão simples os compostos com presença de rejeitos apresentaram resultados convincentes para algumas composições. Os testes foram realizados com três traços diferentes: Convencional, Com Adição de RBMF e Com Substituição de Agregados Por RBMF em concretos com dosagens distintas. Foi utilizado cimento Portland CP V com acréscimo de 0,5%, 5%, 10% e 50% do material estudado, considerando que o traço C20 de substituição (1 kg de cimento, 1,425 kg de agregado miúdo, 0,075 kg de RBMF, 2,5 kg de agregado graúdo e 2,32 kg de água) foi o que melhor apresentou resultados, aos 28 dias, quando comparado ao traço normal.

Por meio dos ensaios de compressão simples constatou-se que a melhor utilização para o emprego do rejeito de traço C20 no concreto é a concentração de 5% que se manteve mais estável ao longo dos 3, 7 e 28 dias, apresentando

uma resistência de compressão simples de aproximadamente 43 MPa. Para concretos tipo C30 e C40 que possuem dosagens para atingir maiores resistências, a substituição de 10% se tornou mais viável.

Com relação às argamassas Fontes (2013) realizou estudos de diversas composições para analisar os resultados do acréscimo dos resíduos. As quantidades dispostas foram muito variadas, contendo basicamente cimento, do tipo CP III, areia, cal hidratada, e o RBMF. Novamente os resultados foram muito semelhantes aos demais constatados, quanto a massa específica e ainda quanto ao traço conter mais água do que em casos convencionais. Quanto ao alto teor de finos o autor ressalta que a argamassa pode apresentar facilidade em criar aglomerados e também sugere que devem ser feitos mais estudos quanto a aplicação do material.

Contudo mesmo tendo um maior índice de água na mistura, a mesma pode apresentar igual trabalhabilidade e ainda constatou melhor resistência mecânica. Devido a esta análise também é possível dizer que é viável a utilização técnica deste material como complemento ou ainda substituição do aglomerante, sendo ambientalmente correto por diminuir os impactos ambientais causados pela mineração e ainda economicamente positivo por ser um material com custo inferior aos demais utilizados, (Fontes, 2013).

## 3. CONCLUSÃO

Como já comentado e comprovado por meio de resultados pelo autor Assis et. al. 2018 é possível a produção de tijolos maciços a partir da utilização de rejeitos da extração do minério de ferro, onde todas as concentrações utilizadas ficaram dentro dos padrões das normas. Isso pode ser complementado pelo material possuir menor valor agregado quando comparado aos convencionais.

Quanto à utilização na área geotécnica, ótimos resultados são apresentados pelas análises do estudo, constatando um aumento da resistência do solo e ainda um ganho propriedades como trabalhabilidade e redução da plasticidade, o que o torna favorável para aplicação como base de pavimentação. Como comentado pela ANTT em 2018 há possibilidade de ser realizados mais estudos a fim de obter resultados ainda mais satisfatórios, principalmente na fase de execução do mesmo.

No concreto os resultados apresentados foram bem qualificados, principalmente quanto a resistência mecânica quando comparados ao traço sem adição de RBMF, isso nos traços com menores concentrações de cimento, por que ocorre melhor expressão do fíler (Franco et. al., 2014).

Para as argamassas, mesmo apresentando melhor resistência mecânica, o principal ponto de vantagem é a sustentabilidade, onde podem ser obtidos resultados semelhantes por um preço mais acessível e ainda colaborar com a diminuição de acúmulo de rejeitos em barragens.

Todos os assuntos abordados são concluídos com resultados positivos, onde estão de acordo com as normas e dentro dos padrões de utilização. Além de apresentarem proveitoso efeito técnico com soluções econômicas desejáveis ainda foi avaliada a visão ambiental da aplicação, onde se fez um dos principais motivos para que fossem realizados os estudos.

## 4. REFERÊNCIAS

Andrade, L.C.R., 2014. *Caracterização de Rejeitos de Mineração de Ferro, In Natura e Segregados, Para Aplicação Como Material de Construção Civil*. Tese Doutorado UFV, Viçosa, Minas Gerais,

Agência Nacional de Mineração – ANM., 2019. *Classificação das Barragens de Mineração Brasileiras. Superintendência de Produção Mineral: Gerência de Segurança de Barragens de Mineração*, Brasília.

_____. Perguntas e Respostas sobre Barragens de Mineração e o caso de Brumadinho. Brasília,

Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT., 2018.*Recursos de Desenvolvimento Tecnológico RDT: Estudo da Viabilidade Técnica de utilização de Rejeitos de Minério de Ferro em Pavimentos Rodoviários*. Relatório Final, Brasília.

Assis, D. M.; Queiroga, F.O.C.S. e Mendes, J. C., 2018. Utilização de Rejeito De Barragem de Minério de Ferro Na Fabricação de Tijolos Maciços. Ágora, A Revista Científica da FaSaR – Ano II – nº 01.

_____. NBR 13028: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 15270-1*: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos.* Rio de Janeiro, 2005.

Bezzera, C.G., 2017. *Caracterização do Rejeito de Minério de Ferro (IOT) e Avaliação da sua Influência no Comportamento Físico Químico e Mecânico de Pastas de Cimento.* Dissertação de Mestrado UFRJ, Rio de Janeiro.

Carvalho, P. S. L. de., SILVA, M. M. da., Rocio, M.A.R. e Moszkowicz, J., 2014. Minério de ferro. BNDES Setorial 39, p. 197-234.

Fontes, W.C., 2013.*Utilização do Rejeito de Barragem de minério de Ferro Como Agregado Reciclado Para Argamassas de Revestimento e Assentamento*. Dissertação de Mestrado UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais.

Franco, L.C. et. al. 2014. *Aplicação de Rejeito de Mineração Como Agregado Para a Produção de Concreto*. 56º Congresso Congresso Brasileiro do Concreto CBC.

Gratão, L.S., Pereira, E.L. e Ribeiro, L.F.M., 2006.*Utilização de um rejeito de mineração como alternativa para estabilização de um solo tropical da região Centro-oeste*. ABMS – Geojovem.

Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM., 2018.*Relatório Anual de Atividades- Julho 2017 a Junho 2018* . Brasília.

Machado, W.G.D.F., 2007.*Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração*. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo.

Mourão, J.M, 2017. *Aspectos conceituais Relativos à Pelotização de Minérios de Ferro*. Vitória, Espírito Santo.

Neves, G.Z.F.; Tshibangu, G.M., Schalch, V. e Oliveira, L.A.R. de., 2016. *Resíduos de Mineração: Cenários e Desafios no Contexto Brasileiro. X Simpósio do Curso de Especialização em Educação Ambiental e Recursos Hídricos*. EESC, São Carlos.

Yellishetty, M., Karpe, V. e Reddy, E., 2008. *Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: a case study*. Resour Conserv Recycle. Vol. 52:1283–9.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Civil:

# Mecânica dos Sólidos / Estruturas

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE ELÁSTICA DE ESTABILIDADE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS EM PERFIS FORMADOS A FRIO

**Felipe Castelli Sasso**
**Zacarias Martin Chamberlain Pravia**
Universidade de Passo Fundo, BR-285, São José, Passo Fundo/RS, CEP: 99052-900
castellisasso@gmail.com; zacarias@upf.br

***Resumo:*** *O presente trabalho apresenta a análise numérica da estabilidade elástica de perfis formados a frio, mais especificamente perfis U simples, pelo Método dos Elementos Finitos, buscando avaliar a influência da espessura dos perfis no modo de instabilidade dos mesmos, quando submetidos à flexão. As análises numéricas foram realizadas utilizando o software ANSYS Mechanical 19.2, no qual todo processo da análise foi elaborado em linguagem APDL. Com o objetivo de analisar o momento crítico elástico dos perfis, comparou-se o momento crítico das análises numéricas com o momento fletor de flambagem local elástica da norma brasileira ABNT NBR 14762:2010. Para o estudo, foram analisados quatro perfis com variação na espessura de suas respectivas seções transversais. As análises mostraram que apenas o perfil com maior espessura perde sua estabilidade lateralmente e com torção, os demais perfis tiveram uma instabilidade local.*

***Palavras chave:*** *estabilidade elástica, perfis formados a frio, método dos elementos finitos*

## 1. INTRODUÇÃO

Entre as estruturas de aço utilizadas na construção civil, atualmente, os perfis formados a frio (PFF) possuem grande notoriedade devido a possibilidade de obtenção de uma grande variedade de formas de seções transversais, o que se deve ao dobramento a frio (em temperatura ambiente) das chapas planas. Tal variedade e seu baixo custo de fabricação, são vantagens que esses perfis apresentam quando comparados aos perfis laminados e soldados. Quanto as suas aplicações, de acordo com Silva, *et al.*, (2014), os PFF são utilizados de forma eficiente em galpões de pequeno e médio porte, coberturas, mezaninos, casas populares e edifícios de pequeno porte.

Segundo Carvalho, *et al.*, (2014), em comparação aos perfis laminados, a produção de PFF possui um custo mais baixo, pois, por ser composto de chapas delgadas, os mesmos possuem maior leveza, o que proporciona uma maior facilidade de fabricação, manuseio e transporte, não sendo necessários grandes maquinários para o seu içamento.

Devido a utilização de chapas delgadas, o que eleva a relação entre largura e espessura dos elementos planos da seção transversal de um PFF, esses elementos estão sujeitos a perda da estabilidade local, ou seja, a flambagem local. Além dessa, os perfis formados a frio que possuem seção aberta, segundo Cheng, *et al.*, (2012) possuem uma baixa rigidez à flexão lateral e à torção, o que os torna mais suscetíveis à flambagem distorcional e à flambagem lateral com torção.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar no regime elástico a estabilidade de perfis de aço formados a frio, de seção U, comparando o momento crítico de estabilidade elástica obtido pelo Método dos Elementos Finitos e o momento crítico de estabilidade elástica obtido pelo Método da Seção Efetiva, de acordo com os procedimentos de dimensionamento da ABNT NBR 14762:2010.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Estabilidade de perfis formados a frio

As vigas de aço submetidas à flexão, possuem uma parte tracionada e outra comprimida. Nos elementos metálicos onde atuam os esforços de tração, não há problema de estabilidade, tendo como estados limites últimos o escoamento da seção transversal bruta do perfil ou a ruptura da seção transversal efetiva. Porém, quando comprimidos, os elementos metálicos podem atingir a ruptura por escoamento ou, o que é mais comum, ocorrer falha por perda de estabilidade local ou global, fenômeno conhecido como flambagem (JAVARONI, 2015, p. 9).

A flambagem local em elementos planos comprimidos, Fig. 1, ocorre com tensões inferiores à tensão de escoamento do aço, desta forma, os acréscimos de tensão são redistribuídos para as partes enrijecidas do elemento, esse fenômeno é

chamado de resistência pós-flambagem. O comportamento dos elementos enrijecidos sob tensões de compressão uniformes, na perda de estabilidade local, envolve deslocamentos do elemento perpendiculares ao seu plano, com a linha entre os elementos de placa permanecendo retas.

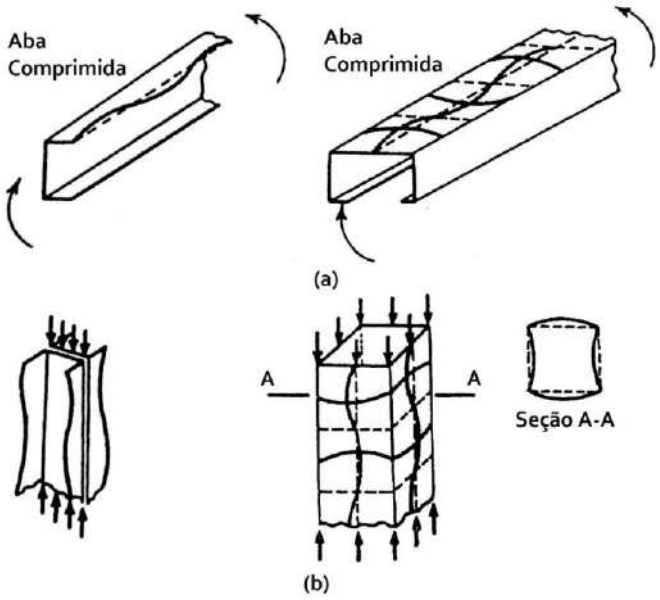



Figura 1. Flambagem local de elementos comprimidos. (a) Vigas. (b) Colunas.
Fonte: Adaptado de Yu (1985)

A flambagem distorcional, que também é um modo de instabilidade local, ocorre com deslocamentos laterais e rotações das partes que compõe a seção transversal do perfil. O que a difere da flambem local dos elementos planos é a não existência da resistência pós-flambagem. Quando submetidos à flexão, ocorre a flambagem da parte comprimida da alma juntamente com a aba, podendo haver translação da seção na direção normal à alma (JAVARONI, 2015, p. 12).
Segundo Yu (1985), um elemento fletido carregado no plano da alma, pode girar e deslocar horizontalmente, como também pode deslocar verticalmente. Esse fenômeno é conhecido como flambagem lateral com torção e também ocorre com tensões inferiores à tensão característica do aço. A flambagem lateral com torção é um exemplo de flambagem global, tal como a flambagem por flexão e a flambagem por torção.

### 2.2 Considerações analíticas

Para Silva, Pierin e Silva (2014), o dimensionamento correto dos perfis formados a frio é dependente de uma análise não linear. Porém, podem ser empregadas expressões diretas, deduzidas a partir de teorias simplificadas e calibradas de forma empírica ou de teorias mais avançadas. Desta forma, com a finalidade de fazer uma análise comparativa entre o modelo analítico e o modelo numérico, utilizou-se o momento fletor de flambagem local elástica, Eq. 1, como o momento fletor crítico. Tal equação é fornecida pela ABNT NBR 14762:2010, item 9.8.2.2.

$$M_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b_w/t)^2} W_c \quad (1)$$

Para a determinação do momento fletor de flambagem local elástica, foi utilizada uma rotina de cálculo para dimensionamento de perfis formados a frio, elaborada no software SMath Studio Desktop (ANDREY IVASHOV, 2019), onde todo o processo de dimensionamento é realizado pelo Método da Seção Efetiva, de acordo com ABNT NBR 14762:2010.

Tanto para o modelo analítico, quanto para o numérico, foram consideradas as propriedades mecânicas de um aço ASTM A36, com módulo de elasticidade longitudinal de 200 GPa, tensão de escoamento igual a 250 MPa e um coeficiente de Poisson de 0,3.

Também para ambas análises, foram utilizados quatro perfis tabelados pela norma brasileira ABNT NBR 6335:2012, variando apenas a espessura dos mesmos. Os perfis estão representados na Tab. 1.

Tabela 1. Perfis utilizados para análise da estabilidade elástica.

| Perfis | Altura da alma (mm) | Largura da aba (mm) | Espessura (mm) | Vão (mm) |
|---|---|---|---|---|
| U 150x50x2,00 | 150 | 50 | 2,00 | 3000 |
| U 150x50x2,25 | 150 | 50 | 2,25 | 3000 |
| U 150x50x2,65 | 150 | 50 | 2,65 | 3000 |

### 2.3 Análise numérica

As análises numéricas foram realizadas pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), o qual gera soluções aproximadas a partir dos resultados de alguns pontos, os chamados pontos discretos. Dessa maneira, quanto mais discretizado for o elemento, mais próximo da realidade será o resultado.

Para a análise pelo MEF, utilizou-se o software ANSYS Mechanical 19.2 (ANSYS, 2019), no qual todo o pré-processamento de dados, processamento e pós-processamento, foi realizado pela linguagem de programação própria do software, a ANSYS Parametric Design Language (APDL). Entre as possíveis análises que o software realiza, para a obtenção do momento fletor crítico de instabilidade elástica, fez-se uma análise de Eigen Buckling, também chamada de Análise de Flambagem ou Análise Elástica de Estabilidade.

#### 2.3.1 Características do modelo numérico

Nos perfis em estudo, utilizou-se o elemento de casca SHELL181 para a discretização do modelo, o qual é composto por quatro nós, tendo seis graus de liberdade cada: translações nas direções X, Y e Z, e rotação em relação aos eixos X, Y e Z. Esse elemento mostrou-se adequado em diversos estudos já realizados, tanto para análises lineares quanto para análises não-lineares com altas tensões e rotações. O elemento de casca SHELL181 está ilustrado na Fig. 2.

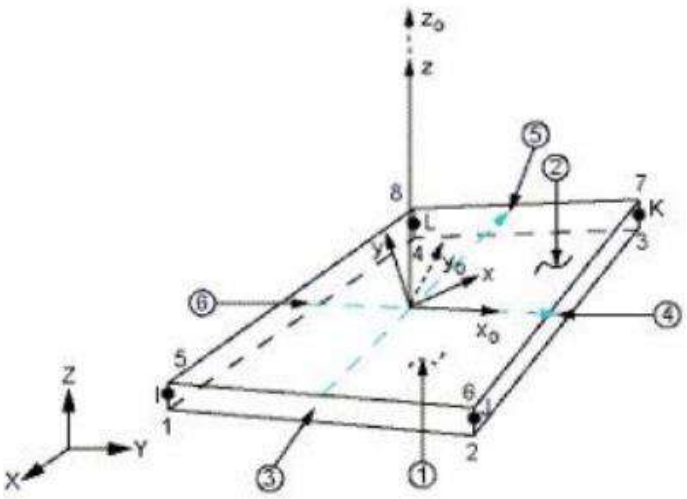



Figura 2. Elemento de casca SHELL181.
Fonte: ANSYS (2019)

A geometria dos elementos estruturais analisados, bem como as propriedades mecânicas de seu material, são as mesmas utilizadas nos modelos analíticos e também estão representadas na Tabela 1. A Figura 3 ilustra o modelo geométrico da viga.

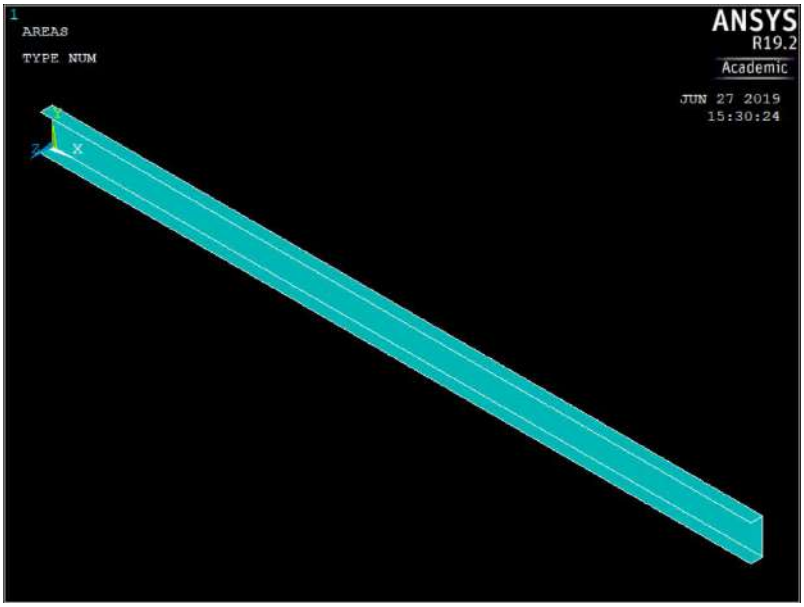



Figura 3. Modelo geométrico da viga.

### 2.3.2 Características do modelo numérico

Com o objetivo de simular uma viga isostática, simplesmente apoiada, em uma extremidade do elemento estrutural restringiu-se as translações em X, Y e Z (Ux, Uy e Uz) em toda a seção transversal do perfil e, na outra extremidade, também em toda a seção transversal, apenas as translações em Y e Z (Uy e Uz). As restrições nas extremidades da viga podem ser vistas na Fig. 4.

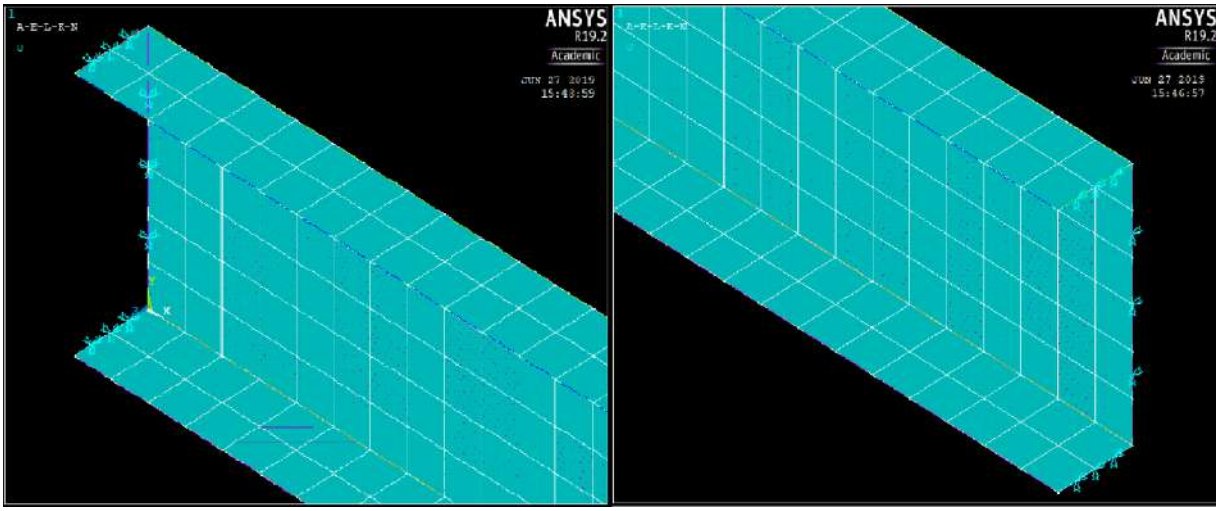



Figura 4. Condições de apoio.

Para a análise linear elástica de estabilidade, aplicou-se uma carga distribuída em toda a aba superior do perfil. Essa, que é a carga crítica de flambagem, foi obtida pela Eq. 2, em função do módulo elástico do perfil, da tensão de escoamento do material, do comprimento da viga e da largura da aba do perfil.

$$q = \frac{\frac{W f_y^{\,8}}{l^2}}{b_f} \tag{2}$$

### 2.4 Resultados e discussão

Após a realização das análises elásticas de estabilidade e, feita a comparação entre os valores obtidos nas mesmas com os obtidos analiticamente, percebe-se que além do aumento do momento resistente, avaliando o erro absoluto entre os dois métodos, a diferença é mínima. Os valores podem ser vistos na Tab. 2.

Tabela 2. Resultados dos momentos críticos elásticos de estabilidade.

| Perfis | Momento Resistente (kN.m) MEF | Momento Resistente (kN.m) NBR 14762:2010 | Erro Relativo (%) | Erro Absoluto (kN.m) |
|---|---|---|---|---|
| U 150x50x2,00 | 4,47 | 5,16 | 13,37 | 0,69 |
| U 150x50x2,25 | 6,76 | 7,28 | 7,08 | 0,52 |
| U 150x50x2,65 | 12,29 | 11,75 | 4,37 | 0,54 |

Outra observação que pode ser feita, é que houve instabilidade lateral com torção apenas no perfil com maior espessura, ou seja, no U 150x50x3,00. Nos outros perfis, antes de perder a estabilidade lateralmente, ocorre uma instabilidade local na aba comprimida. A Figura 5 ilustra a perda de estabilidade de forma local no perfil U 150x50x2,00, enquanto a Fig. 6 mostra a instabilidade lateral com torção no perfil U 150x50x3,00.

Também pode ser visto, na Fig. 7, a torção na seção transversal do perfil no meio do vão, analisando a seção indeformada e deformada.

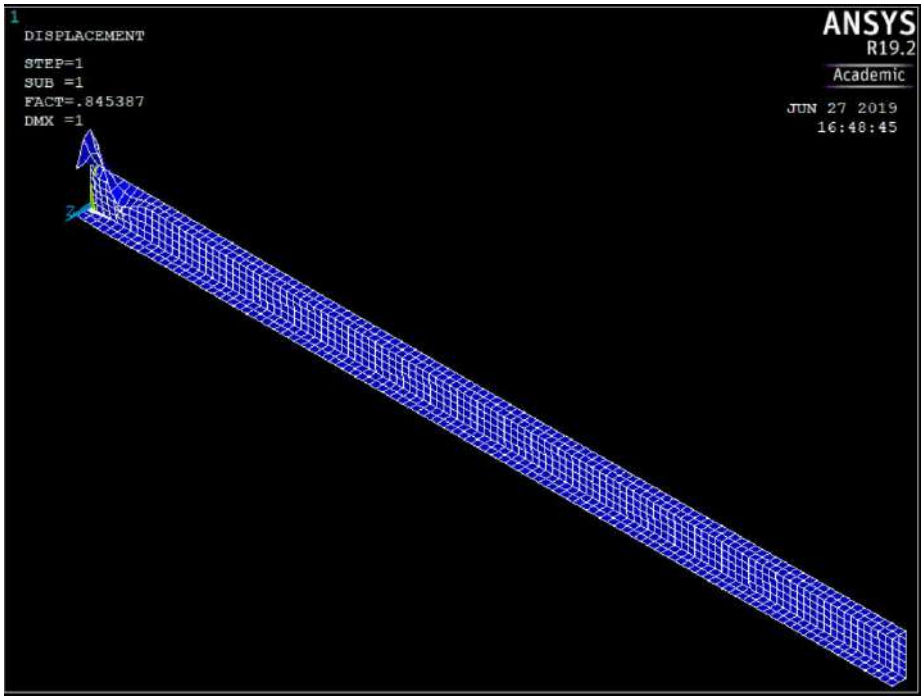



Figura 5. Instabilidade local no perfil U 150x50x2,00.

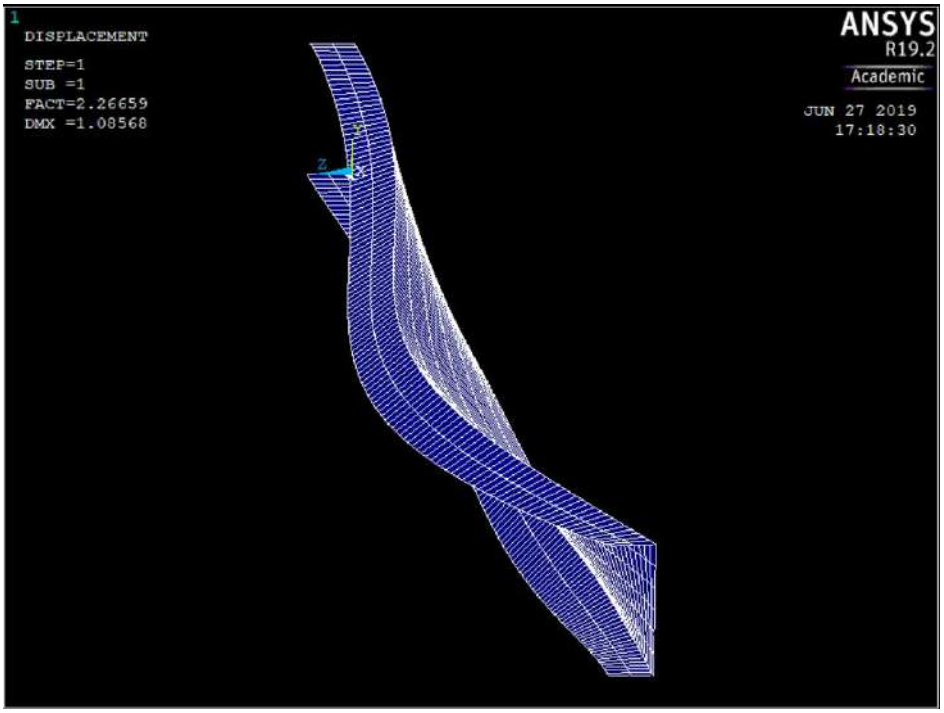



Figura 6. Instabilidade lateral com torção no perfil U 150x50x3,00.

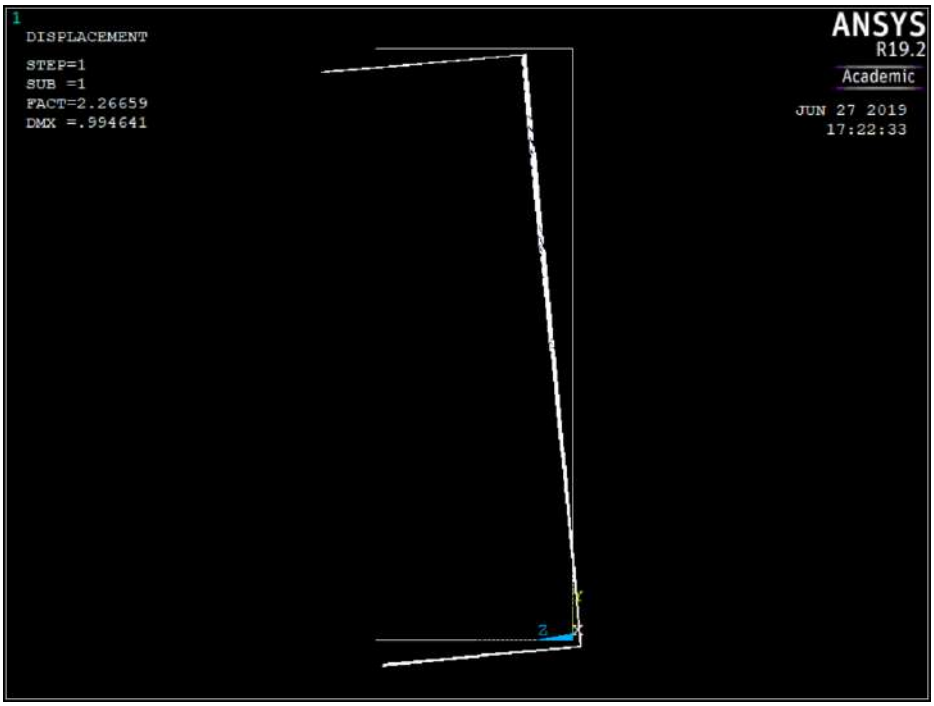



Figura 7. Torção na seção transversal do perfil.

## 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com a bibliografia, pois para relações entre largura e espessura mais altas obteve-se instabilidade local e ao diminuir essa relação, foi possível chegar a uma instabilidade global, a lateral com torção. Outro ponto importante para a validação do trabalho, foi a proximidade entre os resultados obtidos numericamente e analiticamente, uma vez que não há resultados experimentais para fins comparativos. Desta forma, tem-se como proposta futura, a continuação da pesquisa com uma análise experimental de estabilidade elástica.

## 4. REFERÊNCIAS

ANDREY IVASHOV. SMath Studio Desktop. 2019. Disponível em: https://en.smath.com/view/SMathStudio/summary. Acesso em: 27 jun. 2019.

ANSYS. ANSYS Mechanical, version 19.2. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, P. R. M. de; GRIGOLETTI, G.; BARBOSA, G. D. Curso básico de perfis de aço formados a frio. 3. ed. Porto Alegre: [s. n.], 2014.

CHENG, Shan-shan; KIM, Boksun; LI, Long-yuan. Lateral–torsional buckling of cold-formed channel sections subject to combined compression and bending. Journal of Constructional Steel Research, [s. l.], p. 174-180, 29 out. 2012.

JAVARONI, C. E. Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, E. L.; PIERIN, I.; SILVA, V. P. e. Estruturas compostas por perfis formados a frio: dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 6355:2012. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014.

YU, W. W. Cold-formed steel design. Nova York: Wiley-Interscience, 1985.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PRISMAS DE BLOCOS ESTRUTURAIS CERÂMICOS

**Marcelo Riedel**
**Mariana Balvedi Zakrzevski**
**Gilson Francisco Paz Soares**
URI Erechim, RS 331, N° 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil
marceloriedel100@hotmail.com, mariana_zak@hotmail.com, gilsonfps@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A alvenaria structural já vem sendo utilizada há muitos anos, começando com o empilhamento de rochas, uma sobre as outras. Com o passar do tempo, esse método foi aperfeiçoado e novos materiais foram sendo agregados, como por exemplo blocos de cerâmica ou de concreto, assentados com argamassa, entre outros. Desta forma, tornou-se fundamental a compreensão do comportamento mecânico dos materiais constituintes, e como isso se reflete no conjunto, de forma a se promover uma compatibilização entre os materiais utilizados e suas resistências. Neste contexto, este trabalho avaliou experimentalmente, através de ensaios de ruptura, de que forma a resistência à compressão de prismas de dois blocos estruturais cerâmicos foi influenciada pela resistência do graute, utilizando materiais componentes no sistema de alvenaria estrutural aplicados na região de Erechim – RS. os resultados obtidos das comparações (resistência dos prismas com e sem graute em relação à resistência do bloco, eficiência mecânica dos prismas com graute em relação aos sem graute e eficiência mecânica dos prismas com graute entre si) mostraram comportamento similar aos de alguns estudos científicos realizados em outras regiões do país, mostrando que o comportamento mecânico dos materiais utilizados na região está coerente. Não obstante, para concluir, é necessário ressaltar que, além da tendência comportamental do conjunto de materiais e, obviamente, da parede de alvenaria estrutural, os níveis de carregamento e tensão são primordiais, cabendo a cada projetista identificar as corretas necessidades de projeto*.

***Palavras chave:*** *Alvenaria estrutural. Resistência à compressão. Prismas. Graute.*

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural, caracterizada por ser um sistema construtivo racionalizado, proporciona uma minimização de desperdício de materiais, além de tempo e custo de construção reduzidos. Consiste em blocos de cerâmica que exercem mais do que apenas a função de vedação, mas também a função estrutural. Sua execução consiste no assentamento de blocos sobrepostos com junta de argamassa de resistência adequada de acordo com o projeto, sendo empregado o uso do grauteamento nas vergas e contra vergas. As vigas e pilares são eliminadas no emprego deste método. As forças deixam de ser transferidas por esses elementos até a fundação e passam a ser suportadas pelas paredes que possuem função estrutural, e então para as fundações, que serão projetadas de acordo com as cargas que devem suportar e o tipo de solo no qual irão ser implantadas. O presente trabalho tem como objetivo geral analisar como a resistência à compressão de prismas de blocos estruturais cerâmicos pode ser influenciada pela resistência do graute, empregando materiais comumente utilizados no sistema de alvenaria estrutural na região de Erechim - RS.

## 2. INFLUÊNCIA DAS RESISTÊNCIAS DO BLOCO E DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCO ESTRUTURAL CERÂMICO

Para o estudo em questão foram analisados alguns trabalhos a respeito do tema, cujos estão apresentados a seguir:

Grohmann (2006) analisou a resistência de prismas de blocos estruturais cerâmicos com três resistências de graute e com diferentes percentuais de preenchimentos dos prismas. Constatou que os prismas com 33% e 66% de preenchimento obtiveram um ganho pouco significativo de resistência, apenas as células 100% preenchidas com graute que obtiveram um aumento significativo de resistência que foi de 23,67% quando utilizada argamassa de resistência mais elevada.

Arantes e Cavalheiro (2004), estudaram a influência do graute na resistência de prismas de blocos estruturais vazados de cerâmica, e constataram um aumento de resistência significativo tornando viável a técnica de

grauteamento dos vazados dos blocos. E com base nos resultados dos ensaios de compressão verificaram que a resistência cresce relativamente pouco com o aumento das resistências da argamassa e/ou do graute.

Logullo (2006) estudou a combinação de blocos estruturais de concreto de duas resistências médias de 8,64 e 15,67 MPa, um tipo apenas de argamassa com traço (1: 0,5: 4,5), graute de duas resistências variadas (17 e 30 MPa) e posteriormente analisou a implementação de três diferentes taxas de armaduras: 0,15, 0,40 e 1,00% da área bruta dos prismas. Após os ensaios a autora constatou que o grauteamento praticamente dobrou a resistência do prisma grauteado, contudo o aumento não foi proporcional à relação efetiva de áreas.

## 3. METODOLOGIA

Na sequência apresenta-se plano experimental, bem como os materiais e normas utilizados no trabalho.

### 3.1 Plano experimental

Com base na Figura 1, é reconhecido que os fatores controláveis do presente trabalho são: a resistência do bloco, resistência da argamassa, espessura da argamassa e resistência do graute. Mas dentre estes itens cabe salientar que somente a resistência de bloco e o preenchimento ou não de graute serão estudados como sendo fatores que influenciam a resistência do prisma (variável de resposta).

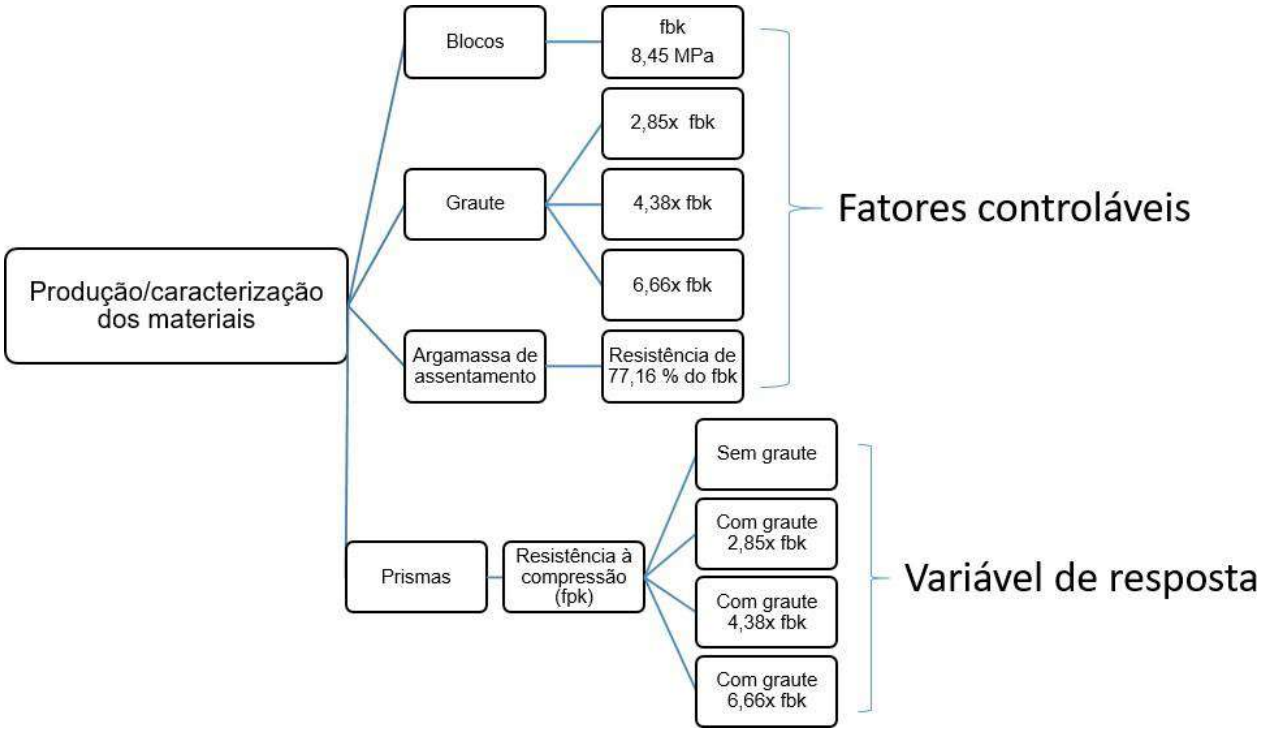



Figura 1. Plano experimental

### 3.2 Materiais e compostos

Os materiais e compostos utilizados na presente pesquisa foram o bloco cerâmico estrutural, a argamassa de assentamento, o graute e os prismas, os quais são apresentados na sequência.

#### 3.2.1 Bloco cerâmico estrutural

Os blocos utilizados no presente trabalho se tratam de blocos estruturais, de material cerâmico maciços (Figura 2), muito utilizados não só no município de Erechim – RS, mas em todo estado do Rio Grande do Sul. Esses blocos foram ensaiados quanto a suas características geométricas, físicas e mecânicas de acordo com a NBR 15270-3 (2005).

#### 3.2.2 Argamassa de assentamento

Para a confecção dos prismas, foi fabricada uma argamassa indicada para o assentamento de blocos estruturais. A resistência de argamassa deve ser de ± 80% do fbk característico do bloco conforme indicado na NBR 13279 (2005).

A argamassa foi submetida ao ensaio de índice de consistência determinado pela mesa de queda conforme indica a norma NBR 13276 (2002). O processo de determinação do índice de consistência é ilustrado através da Figura 3.

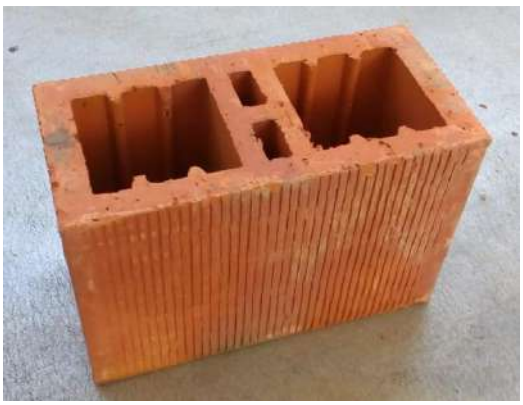


Figura 2. Bloco cerâmico estrutural

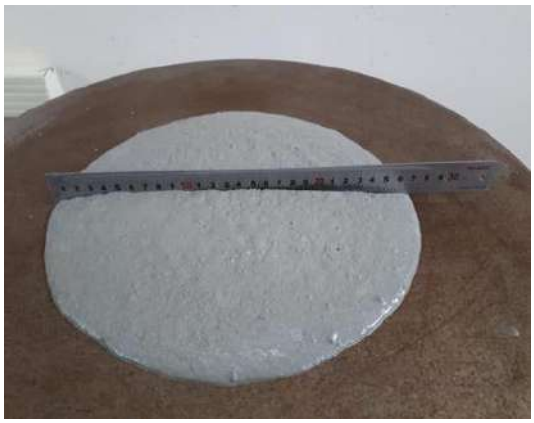


Figura 3. Determinação do índice de consistência das argamassas

### 3.2.3 Graute

Os traços de graute foram definidos através de dosagem experimental. Foram produzidos três traços de graute, todos compostos por cimento, agregado miúdo e agregado graúdo, sendo um deles com uso de aditivo super plastificante. Foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos de concreto nas dimensões de 10cm x 20 cm para cada resistência que após 28 dias de cura em câmera úmida, passaram por ensaio de compressão axial na prensa hidráulica a pêndulo (Figura 4), modelo PC200CS da marca EMIC com capacidade máxima de 2000 KN (mesma utilizada para os ensaios dos blocos, argamassas e prismas), conforme a NBR 5738 (2015).



Figura 4. Ruptura dos corpos de prova de graute

### 3.2.4 Prismas

Os prismas foram compostos de duas unidades de blocos, argamassa de assentamento e preenchidos ou não com graute, conforme apresentado na matriz experimental. O ensaio foi regido pela NBR 15812-2 (2010) e conta com 5 prismas moldados para cada combinação. Os prismas receberam capeamento e permaneceram na câmera úmida por 28 dias para passar pelo processo de cura, e posteriormente pelo ensaio de compressão axial. A carga aplicada foi de 0,05 MPa (tolerância de ± 0,01) até ruptura (Figura 5).



a) Sem graute b) com graute 2,85x o fbk c) com graute 4,38x o fbk d) com graute 6,66x o fbk

Figura 5. Ruptura dos prismas estruturais cerâmicos

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os blocos passaram por caracterização geométrica, física e mecânica. Os grautes passaram por caracterização mecânica para conhecimento de sua resistência à compressão e também foram caracterizados todos os materiais utilizados em sua fabricação (areia, pedra e cimento). As argamassas também tiveram seus materiais caracterizados (areia, cimento e cal) após passaram pelo ensaio a compressão, e pelo teste de tração na flexão. Confirmando por meio destes ensaios que os materiais estavam aptos a serem utilizados na confecção dos prismas. Na figura 6 é apresentado o gráfico para análise comparativa.

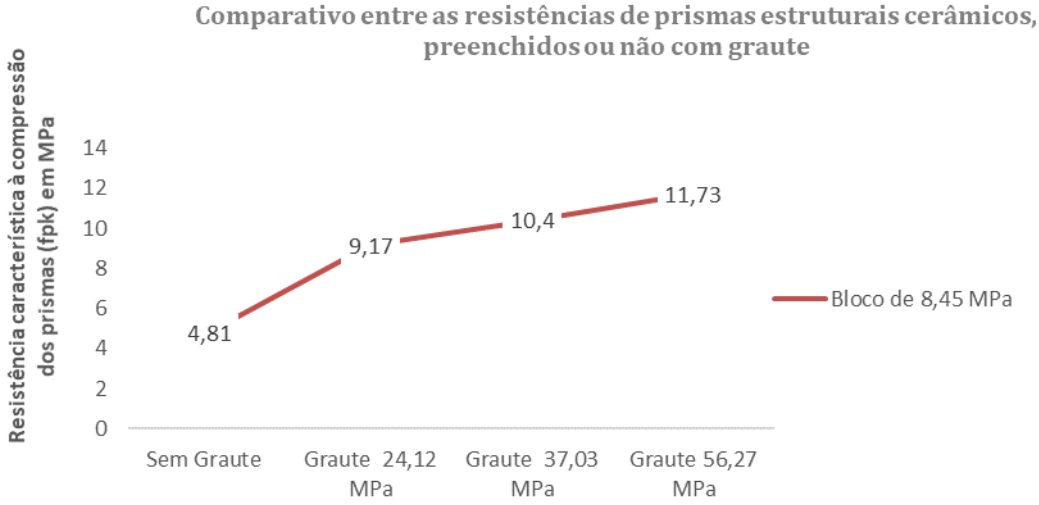



Figura 6. Comparativo entre as resistências de prismas estruturais cerâmicos, preenchidos ou não com graute

O gráfico mostra os valores das resistências características dos prismas (*fpk*), sem graute e com graute de diferentes resistências, permitindo fazer uma análise acerca da influência da resistência do graute na resistência de prismas de bloco

estrutural cerâmico. A seguir, nos itens 4.1, 4.2 e 4.3, são realizadas as discussões dos resultados, que são apresentadas tomando como base as comparações analisadas.

### 4.1 Comparação entre a resistência característica dos prismas, com e sem graute, e a resistência característica do bloco

No caso do prisma sem grauteamento, houve uma redução de 43,08% na resistência característica do prisma (*fpk* = 4,81 MPa) em relação à resistência do bloco (*fbk* = 8,45 MPa), tendência esta já observada por Grohmann (2006).

Já com o acréscimo de graute nos prismas, observou-se tendência contrária, assim como afirma JUNIOR (1992) em sua pesquisa. Com relação ao prisma com graute de resistência de 24,12 MPa, houve um ganho de 8,52% na resistência característica (*fpk* = 9,17 MPa) em relação à resistência característica do bloco. No prisma com graute de resistência de 37,03 MPa, observou-se um acréscimo de 23,08% na resistência característica (*fpk* = 10,40 MPa), comparado com o bloco. Enquanto que para o prisma com graute de 56,27 MPa, o ganho de resistência característica ocorrido em relação ao bloco foi de 38,81% (*fpk* = 11,73 MPa).

### 4.2 Comparação da eficiência mecânica dos prismas com graute em relação ao prisma sem graute

Observou-se, como já afirmara Logullo (2006), acréscimos de resistência caraterística à compressão nos prismas com graute em relação àquele sem grauteamento. No caso do prisma com graute de resistência de 24,12 MPa (*fpk* = 9,17 MPa), houve um ganho de 90,64% em relação ao prisma sem graute (*fpk* = 4,81MPa) em relação à resistência característica do bloco. Para os prismas com grautes de resistência 37,03 MPa e 56,27 MPa, os acréscimos de resistência característica, comparados com o prisma de referência, sem graute, foram, respectivamente de 116,21% e 143,87%.

### 4.3 Comparação da eficiência mecânica dos prismas com graute

No que se refere à eficiência do grauteamento nos prismas, pode-se constatar que um aumento de 133,29% na resistência do graute (de 24,12 MPa para 56,27 MPa) provocou um acréscimo de 27,92% apenas na resistência do prisma (de *fpk* = 9,17 MPa para *fpk* = 11,73 MPa). Tal tendência já havia sido apontada por Arantes e Cavalheiro (2004), em seus estudos.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o comportamento de materiais componentes no sistema de alvenaria estrutural utilizado na região de Erechim – RS. Após realizados todos os experimentos objetos do estudo, em que se avaliou como a resistência à compressão de prismas de blocos estruturais cerâmicos pode ser influenciada pela resistência do graute, foi possível tecer as conclusões descritas na sequência.

A caracterização do cimento, dos agregados miúdo e graúdo e do bloco estrutural cerâmico revelaram que os mesmos estavam aptos ao estudo. A argamassa de assentamento dos blocos, utilizada na confecção dos prismas, foi produzida em laboratório e o valor de resistência ficou dentro da faixa estabelecida por norma e também recomendada por outros estudos científicos na área. Quanto aos concretos produzidos para o grauteamento, foi possível obter resistências que mantiveram relações apropriadas com a resistência características dos blocos.

Com relação aos ensaios de ruptura por compressão nos prismas, os resultados obtidos das comparações (resistência dos prismas com e sem graute em relação à resistência do bloco, eficiência mecânica dos prismas com graute em relação aos sem graute e eficiência mecânica dos prismas com graute entre si) mostraram comportamento similar aos de alguns estudos científicos realizados em outras regiões do país, mostrando que o comportamento mecânico dos materiais utilizados na região de Erechim – RS está coerente.

Não obstante, para concluir, é necessário ressaltar que, além da tendência comportamental do conjunto de materiais e, obviamente, da parede de alvenaria estrutural, os níveis de carregamento e tensão são primordiais, cabendo a cada projetista identificar as corretas necessidades de projeto.

## 6. REFERÊNCIAS

ARANTES, C. A.; CAVALHEIRO, O. P., 2004. “Influência do graute na alvenaria estrutural de blocos vazados cerâmicos”**.** *I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X encontro nacional de tecnologia ambiente*. São Paulo, Brasil.

GROHMANN, L. Z., 2006. *Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica.* 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - UFSM, Brasil.

JUNIOR, V. O., 1992. *Recomendações para projetos de edifícios em alvenaria estrutural.* Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, Brasil.

LOGULLO, B. G., 2006. *Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento da alvenaria de bloco de concreto*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Estado de São Paulo – UNESP, Ilha Solteira, Brasil.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCO ESTRUTURAL CERÂMICO

**Marina Carla Marmentini**
**Mariana Balvedi Zakrzevski**
**Gilson Francisco Paz Soares**
URI Erechim, RS 331, N° 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil
marinamarmentini@hotmail.com, mariana_zak@hotmail.com, gilsonfps@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A alvenaria estrutural é um dos sistemas construtivos que vem sendo utilizado pelo homem desde os primórdios da história das civilizações. O grande diferencial da alvenaria estrutural em relação ao sistema convencional em concreto armado é a utilização da parede como estrutura e não apenas como vedação. O comportamento da parede estrutural depende da qualidade de cada material utilizado e também das suas interações. Diante disto, deve-se tratar a parede de alvenaria estrutural como um material compósito, formado da ligação entre o bloco, argamassa de assentamento e graute. Desta forma, pesquisas relacionadas ao comportamento e interação entre os materiais que compõem a alvenaria estrutural, quando solicitados à esforços de compressão, são primordiais para o entendimento e uso de todo o potencial desse sistema construtivo. Neste contexto, este estudo analisou, através de ensaios experimentais de compressão uniaxial, a influência da utilização de três grautes com diferentes resistências, em prismas com blocos cerâmicos estruturais que simulam o comportamento da parede de alvenaria estrutural. Os resultados encontrados para os prismas grauteados apresentaram aumento significativo de resistência quando comparados aos prismas sem graute para as três combinações analisadas.*

***Palavras chave:*** *Alvenaria estrutural. Graute. Compressão uniaxial. Prismas.*

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural deve ser entendida como uma estrutura em alvenaria dimensionada por cálculo racional. A principal característica desse processo construtivo é a utilização das paredes da habitação para resistirem às cargas, em substituição a pilares e vigas utilizados nos sistemas em concreto armado, aço ou madeira. Dessa forma, as paredes têm concomitantemente a função estrutural e a função de vedação. Essa multifuncionalidade dá origem a facilidades construtivas como: técnica de execução simplificada, menor diversidade de materiais empregados e eliminação de interferências no cronograma executivo entre os subsistemas (Zechmeister, 2005).

Os principais componentes da alvenaria estrutural são os blocos, as argamassas, os grautes e as armaduras, cada material com características, comportamentos e funções diferentes na formação da alvenaria estrutural (Santos, 2016).

A unidade (bloco) é o principal elemento, resiste aos esforções de compressão, cargas acidentais, esforços provocados por carregamento horizontal e também garantem isolamento térmico e acústico. A argamassa tem como funções unir as unidades, absorver deformações, transmitir esforços e promover estanqueidade. Os grautes tem como funções solidarizar e transmitir esforços entre bloco e armadura, aumentar a massa e a inércia da parede e aumentar a área líquida resistente. As armaduras são empregadas em regiões de reforços e de ligação entre as paredes e para resistir a esforços de tração na alvenaria, quando o rearranjo geométrico dos elementos não consegue combater essas cargas (Leão, 2008).

Segundo Mohamad (2007) deve-se tratar a parede de alvenaria estrutural não em função das características de seus materiais isoladamente, mas sim, como um material compósito, formado da interação entre a unidade (bloco) e a argamassa, e, quando também usado, do graute. Dessa forma, é importante compreender perfeitamente o comportamento do "material alvenaria", que apresenta variações entre os tipos de unidade e também com os diferentes traços de argamassas e grautes.

Por essa razão, o desempenho estrutural das paredes de alvenaria não pode ser estimado sem a realização de ensaios em paredes ou prismas dos materiais que serão utilizados. Entre as principais propriedades mecânicas que as paredes de alvenaria devem apresentar, a mais importante é a resistência à compressão, pois geralmente as paredes de alvenaria estão submetidas a carregamentos verticais mais intensos do que os horizontais produzidos pelo vento e sismos (Mohamad, 2007).

Desta forma, pesquisas relacionadas ao comportamento e interação entre os materiais componentes da alvenaria estrutural, quando solicitados à esforços de compressão são primordiais para o entendimento e uso de todo o potencial desse sistema construtivo, assim como a análise da influência do uso de graute neste sistema.

Neste contexto, presente estudo teve como objetivo analisar a influência da resistência do graute na resistência de prismas de bloco estrutural cerâmico. Para isso, inicialmente foi caracterizado todos os elementos envolvidos: bloco cerâmico, graute e argamassa de assentamento, e com isso, analisou-se o comportamento mecânico dos prismas, preenchidos ou não com graute.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo, foram caracterizados de acordo com as respectivas normas técnicas vigentes.

Foram utilizados blocos estruturais cerâmicos vazados, os quais passaram por avaliações geométricas e de resistência à compressão, cuja verificação é fundamental para determinar a segurança estrutural da edificação, pois indica a capacidade de carga que os blocos estruturais suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente às suas extremidades, ou seja, determina se os mesmos oferecem resistência mecânica adequada devido à pressão exercida pelo peso da construção. Para isso, foi feito o capeamento e saturação dos blocos, para posterior ensaio de resistência à compressão.

O ensaio de resistência à compressão, foi realizado conforme indicação da NBR 15270-3 (ABNT, 2005), sendo os blocos submetidos à compressão na prensa hidráulica a pêndulo, modelo PC200CS da marca EMIC com capacidade máxima de 2000 kN, assim que retirados da água, para que permanecessem na condição saturada, com seu centro de gravidade posicionado no eixo dos pratos do equipamento para que o elemento receba a carga na direção em que ele deve suportar durante sua utilização na construção.

Foram definidos três traços de graute por meio de dosagem experimental, com resistências estimadas de duas, quatro e cinco vezes a resistência característica à compressão do bloco (2x*fbk*, 4x*fbk* e 5x*fbk*, onde *fbk* é a resistência característica à compressão do bloco). Para isso, foi adotado o Cimento Portland CP V-ARI como aglomerante hidráulico; areia média como agregado miúdo, com módulo de finura de 1,62 e dimensão máxima característica de 2,36 mm; e brita zero como agregado graúdo, com módulo de finura de 5,77 e diâmetro máximo de 9,50 mm.

O ensaio de resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova de graute foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), onde foram moldados corpos de prova com dimensão de 100x200 mm e ensaiados aos 28 dias.

Para a confecção dos prismas, foram determinados dois traços distintos de argamassa (1:1:4 e 1:1:5) para assentamento com cimento CP IV com massa específica de 2,60 g/cm³ e finura 0,76 e cal com massa específica 2,34 g/cm³. Ambos os traços foram elaborados com o objetivo de alcançar resistência de ± 80% do fbk do bloco, respeitando a NBR 15812-1 (ABNT, 2010).

Os prismas foram compostos de duas unidades de blocos, argamassa de assentamento e preenchidos ou não com graute, conforme Fig. 1.



Figura 1. Assentamento dos prismas.

Para o assentamento dos prismas, foi utilizado a argamassa de traço 1:1:4, a qual apresentou melhor desempenho mecânico. No assentamento, a argamassa foi disposta sobre toda a face do bloco obedecendo a espessura indicada pela NBR 15812-2 (ABNT, 2010) - Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos – Execução e controle de obras, de 10 mm.

Posteriormente ao assentamento, foi feito o capeamento dos blocos que serve para a regularização das faces dos prismas, corrigindo possíveis imperfeições, para que estas não interfiram no resultado do ensaio de compressão. Após o capeamento, os prismas passaram pelo período de cura de 28 dias, na câmara úmida com temperatura de 23±2°C e umidade relativa do ar acima de 95%.

O ensaio de resistência à compressão dos prismas seguiu a NBR 15812 (ABNT, 2010), com carga aplicada de 0,05 MPa (tolerância de ± 0,01) até ruptura. Os prismas foram ensaiados individualmente, recebendo a carga no sentido perpendicular ao seu comprimento, até sua ruptura.

Para a realização do ensaio foi utilizada uma prensa mecânica da marca EMIC, modelo PC200CS, com capacidade máxima de 2000 KN, provido de dispositivo que assegura a distribuição uniforme dos esforços no corpo de prova, conforme figura 2.



Figura 2. Ensaio de resistência à compressão dos prismas.

Para a determinação da resistência característica dos prismas, utilizou-se a metodologia de cálculo citada na NBR 15812-2 (ABNT, 2010), descrita a seguir.

$$fpk1 = 2\left[\frac{fp1 + fp2 + \dots fp_{i-1}}{i-1}\right] - fpi$$

$$fpk2 = Ø \times fpk1$$

Onde:
*fpk,3* maior valor entre $fpk_1$ e $fpk_2$;
$fpk_4$= 0,85 * *fpm;*
*fpk* menor valor entre $fpk_3$ e $fpk_4$;
*fpk* = resistência característica estimada da amostra, expressa em MPa;
*fp(1), fp(2),..., fpi* = valores de resistência a compressão individual dos corpos-de-prova da amostra, ordenados crescentemente;
*fpm* = média de todos os resultados da amostra;
*i* = n/2, se n for par;
*i* = (n-1)/2, se n for ímpar;
*n* = quantidade de blocos da amostra;
*Ø* = coeficiente de ponderação de acordo com a tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de ponderação (Ø)

| **Quantidade de blocos** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **18** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ø** | 0,87 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,94 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 | 1,00 | 1,01 | 1,02 | 1,04 |

Fonte: Adaptado da NBR 15812-2 (ABNT, 2010)

O ensaio de compressão de prismas é fundamental para que se obtenha um valor de resistência mais equivalente ao que se espera da parede de alvenaria. Após o ensaio foi possível estimar o valor da resistência característica à compressão dos prismas (*fpk*), possibilitando fazer uma comparação entre os valores característicos e de ensaio.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o ensaio de caracterização dos blocos estruturais cerâmicos vazados, constatou-se que todos os blocos submetidos ao ensaio de compressão apresentaram resistência abaixo da indicada pelo fabricante e com uma dispersão média. O valor da resistência característica dos blocos resultou em 6,86 MPa. Desta forma, a resistência das argamassas de assentamento fixadas em torno de ±80 % da resistência característica dos blocos foi determinada a partir dos valores calculados e não a partir das resistências informada pelo fabricante, obtendo assim um dimensionamento mais preciso e coerente com as características dos materiais disponíveis.

A caracterização do graute, seguiu o descrito pela norma NBR 5739 (2007). No presente estudo, foram moldados 6 corpos de prova de cada resistência, rompidos aos 28 dias. Os resultados obtidos de resistência à compressão dos grautes foram considerados satisfatórios para o emprego dos prismas.

O traço de argamassa utilizado para o assentamento dos prismas foi o 1:1:4, que demonstrou melhor desempenho e ainda, é o que mais se aproxima do estabelecido na matriz experimental desse estudo (± 80% do *fbk* do bloco) ficando em 77,11% em relação ao *fbk* do bloco, respeitando o recomendado pela NBR 15812-1 (ABNT, 2010).

Os prismas foram confeccionados seguindo as recomendações da NBR 15812-2 (ABNT, 2010). Foram executados 5 prismas, com espessura da junta de assentamento horizontal de 10 mm, utilizando a argamassa de traço 1:1:4. Na tabela 2, são apresentados os valores de resistência à compressão, bem como a força aplicada e o desvio padrão da resistência.

Tabela 2 – Resistência à compressão média dos prismas

| Tipos de graute | Força aplicada média (kN) | Resistência à compressão média (MPa) | Coeficiente de variação (%) | Desvio padrão resistência (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| Sem graute | 288,23 | 7,10 | 16,92 | 1,20 |
| 14 MPa | 500,68 | 12,33 | 3,91 | 0,48 |
| 28 MPa | 480,98 | 11,85 | 5,97 | 0,71 |
| 35 MPa | 576,07 | 14,19 | 5,13 | 0,73 |

Fonte: AUTORES, 2019

Observa-se na tabela 2, que a resistência à compressão média dos prismas grauteados apresentaram um acréscimo de 73,71%, 66,87% e 99,86%, respectivamente para os grautes de 14 MPa, 28 MPa e 35 MPa, quando comparados aos prismas sem graute.

Nota-se que o coeficiente de variação dos CP's sem graute apresentaram uma dispersão média, enquanto que para as combinações grauteadas as amostras são de baixa dispersão em torno da média, ou seja, homogêneas.

Foram determinados também, os valores da resistência característica de compressão dos prismas (*fpk*), expostos na tabela 3.

Tabela 3. Resistência à compressão característica dos prismas

| Tipos de graute | Ø | *fpk1* | *fpk2* | *fpk3* | *fpk4* | *fpk* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sem graute | 0,87 | 31,54 | 27,43 | 31,54 | 6,54 | 6,54 |
| 14 MPa | 0,87 | 48,33 | 42,04 | 48,33 | 10,03 | 10,03 |
| 28 MPa | 0,87 | 46,38 | 40,35 | 46,38 | 9,68 | 9,68 |
| 35 MPa | 0,87 | 58,7 | 51,07 | 58,7 | 12,07 | 12,07 |

Fonte: AUTORES, 2019

Os valores calculados para a resistência característica (*fbk*) de cada combinação são inferiores aos valores obtidos no ensaio de resistência à compressão dos prismas cerâmicos. As resistências atingidas no ensaio, são 8,56%, 22,93%, 22,42% e 17,56%, respectivamente para cada combinação, maiores do que suas resistências características.

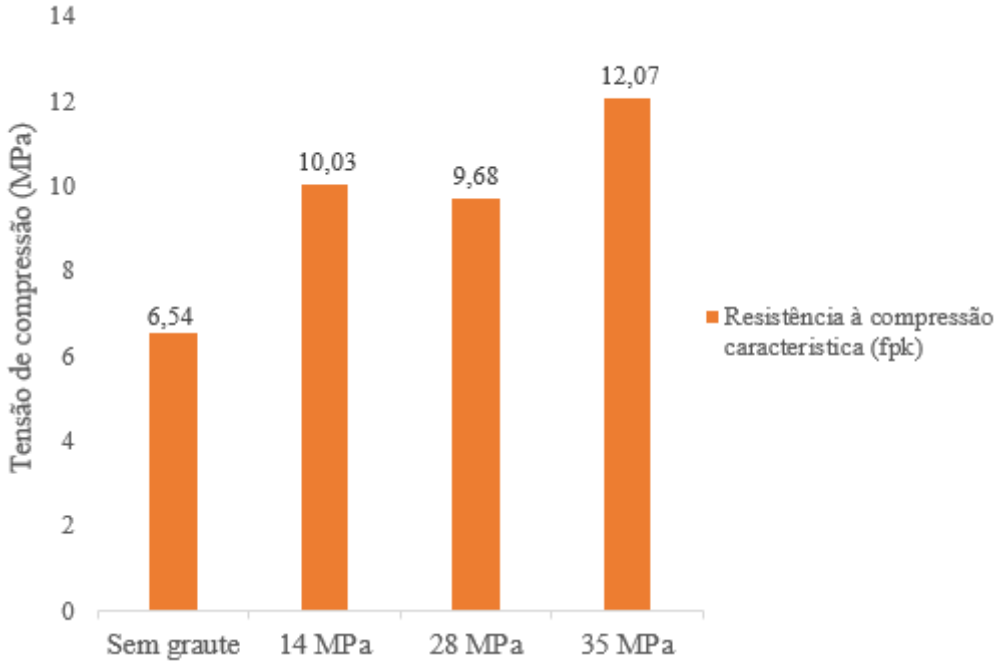



Figura 3. Resistência à compressão característica dos prismas (AUTORES, 2019).

Observa-se na Fig. 3 que houve aumento significativo de resistência nos prismas quando comparados aos corpos de prova sem graute. É evidente também a evolução da resistência dos prismas conforme o aumento da resistência dos grautes, considerando que os resultados para os prismas de 14 MPa e 28 MPa são semelhantes.

Segundo Romagna (2000), há aumento da resistência das paredes com o aumento da resistência do graute, porém esse aumento não é proporcional ao aumento da resistência dos grautes, conforme foi observado para o graute de 28 MPa. Ainda, comparando o graute de 14 MPa com o de 35 MPa (aumento de 150%), há um acréscimo no valor da resistência característica do prisma de 20,33%, o que indica que uma resistência de graute intermediária já poderia ser suficiente para um bom desempenho da alvenaria, dependendo do projeto. Corroborando com esta análise, Logullo (2006) afirma que a adoção de grautes mais resistentes representa elevação de custo e não contribui de forma significativa para o aumento da resistência da alvenaria.

A resistência característica dos blocos, que apresentou valores abaixo do especificado pelo fabricante, de certa forma, contribuiu para o ganho resistência dos prismas, pois conforme o exposto por Logullo (2006), o graute torna-se mais eficiente quando utilizado em conjunto com blocos de menor resistência do que com blocos de resistência mais elevada.

A análise dos resultados permitiu constatar que houve aumento significativo na resistência dos prismas preenchidos com graute, como já apontara Logullo (2006) em seu trabalho. Porém, é de suma importância que haja uma compatibilização entre os materiais utilizados e suas resistências, de acordo com o que foi destacado pelos estudos de Grohmann (2006).

Na Fig. 4 é exposto o modo como os prismas romperam após atingirem sua carga máxima no ensaio de compressão.

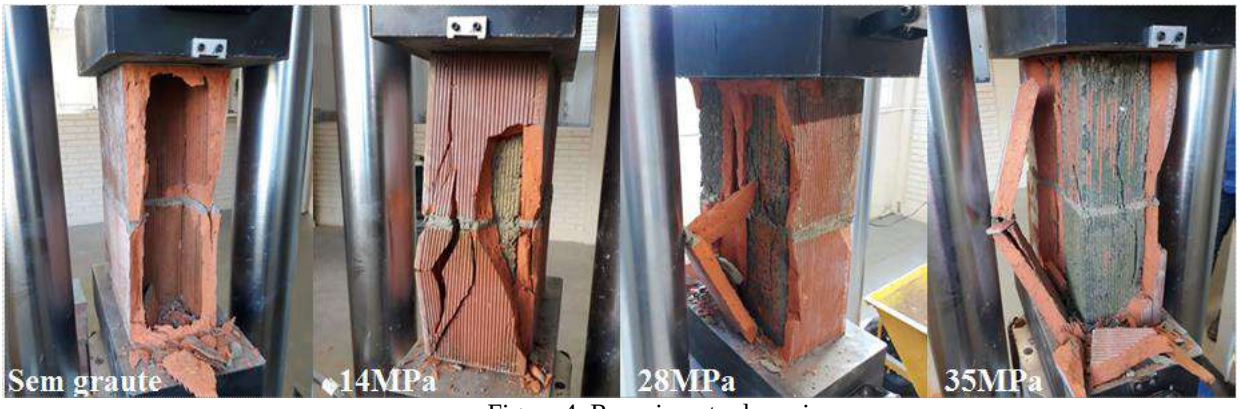



Figura 4. Rompimento dos prismas.

Observa-se que no prisma não-grauteado há desplacamento de uma das laterais do bloco, decorrente da ruptura por esmagamento da argamassa de assentamento, enquanto que nos prismas grauteados, houve uma separação das paredes do bloco cerâmico com o graute, ocasionado pelo esforço de tração lateral na interação bloco/graute.

O modo de ruptura dos blocos preenchidos com graute pode ser classificado, segundo Da Mata (2006), como fendilhamento lateral do bloco, que ocorre pela ruptura por tração no bloco e fissuração das paredes do bloco, ocasionada pela ruptura por flexão.

## 4. CONCLUSÕES

Neste estudo buscou-se avaliar a influência da resistência do graute na resistência de prismas de bloco estrutural cerâmico. A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados foi possível concluir que em relação à resistência característica dos blocos, estes apresentaram resistências abaixo da indicada pelo fabricante e com uma dispersão média. Mas, segundo estudos, o graute torna-se mais eficiente quando utilizado em conjunto com blocos de menor resistência do que com blocos de resistência mais elevada.

Houve também, aumento de resistência nos prismas grauteados quando comparados aos sem graute e que, do ponto de vista econômico o graute com resistência de 14 MPa já seria suficiente para um bom comportamento mecânico da alvenaria, visto que os grautes de 28 MPa e 35 MPa não atingiram resistências muito significativas em relação ao graute de 14 MPa.

Dessa forma, pode-se concluir que o uso do graute em prismas cerâmicos mostrou-se, para estes materiais específicos analisados, uma alternativa viável. No entanto, de acordo com a literatura, a compatibilização de resistências de todos os elementos constituintes (bloco, argamassa e graute), torna-se essencial para resultados ainda mais satisfatórios.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739, 2007: “Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 15270.3, 2005: “Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio”. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 15812-1, 2010: “Alvenaria Estrutural - Blocos cerâmicos: parte 1: projetos”. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 15812-2, 2010: “Alvenaria Estrutural - Blocos cerâmicos: parte 2: execução e controle de obras”. Rio de Janeiro, Brasil.

DA MATA, R. C., 2006. *Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GROHMANN, L. Z, 2006. *Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria.

LEÃO, C. T, 2008. *Resistência de prismas de blocos estruturais cerâmicos submetidos a esforços de compressão e tração na flexão*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LOGULLO, B. G., 2006. *Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento da alvenaria de bloco de concreto*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade do Estado de São Paulo – UNESP, Ilha Solteira.

MOHAMAD, G, 2007. “Alvenaria estrutural de blocos de concreto à compressão–deformabilidade e modo de ruptura”. *Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural*, Vol. 4, n. 3.

ROMAGNA, R. H, 2000. *Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados*. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, M. O. D, 2016. *Avaliação da resistência à compressão de prismas cerâmicos e de concreto*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

ZECHMEISTER, D, 2005. *Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil através do uso da coordenação modular*. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVANÇO COMPUTACIONAL NA ELABORAÇÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**João Pedro Endres, Fábio Augusto Henkes Huppes, Guilherme Jordão Cardoso, Lucas Carvalho Vier, Rodrigo Henryque Reginato Quevedo Melo**
Universidade de Passo Fundo
132313@upf.br, 180290@upf.br, 180291@upf.br, 180293@upf.br, rodrigohquevedo@gmail.com

***Resumo:*** *Um grande avanço computacional vem ocorrendo desde o final do século XX na elaboração de projetos na construção civil. Percorrendo a linha do tempo percebe-se que inicialmente os projetos eram elaborados de maneira manual, o que consumia um enorme tempo por parte dos projetistas, influenciando assim no custo final. Após isso surge o CAD (Desenho Assistido por Computador) e a partir de então o TI (Tecnologia da Informação) se integra totalmente com o setor da construção. Dessa forma com a utilização de softwares projetou-se uma residência unifamiliar na cidade de Marau-RS, desenvolvendo o projeto arquitetônico, fundações, estrutural, sistemas prediais e a compatibilização desses. Nota-se que softwares como o Revit, Eberick, AutoCAD, QiBuilder são muito utilizados nos dias de hoje no setor de construção civil, e isto é comprovado com a utilização dessas ferramentas para a elaboração da residência dada como exemplo. Portanto cabe aos profissionais do ramo da construção civil, sejam arquitetos ou engenheiros, se manterem atualizados no mercado pois inúmeros avanços computacionais estão ocorrendo, influenciando na otimização do tempo e do custo dos projetos, como visto na elaboração da residência de Marau-RS que em 1 semana já estava finalizada.*

***Palavras chave:*** *Software, Construção Civil, Tecnologia da Informação.*

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que tem muita importância para a sociedade pois é a partir dela que é suprida a necessidade de abrigar e acomodar as pessoas. Devido a isso preocupa-se muito com os processos construtivos, visando sempre uma maior eficiência econômica, ambiental e social, para assim poder fornecer um melhor produto final. Para que isso seja possível o setor de arquitetura e engenharia usufrui de um grande avanço computacional que vem ocorrendo nos últimos anos, a partir do desenvolvimento de softwares que acabaram por otimizar os processos de elaboração dos projetos.

Analisando a linha do tempo do modo como os projetos eram elaborados nota-se que até o final do século XX muitos profissionais ainda desenhavam e dimensionavam manualmente, o que consumia um grande tempo dos profissionais. Segundo Schodek et al. (2007) foi em 1980 que o CAD (Desenho Assistido por Computador) foi implementado para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e projetos complementares. Nascimento e Santos (2002) destacam como condição atrativa para a integração do uso de TI com o setor da construção, a baixa produtividade e deficiência na comunicação entre os projetos. A partir desse momento o setor só tem avançado devido a ascendência das ferramentas computacionais e dessa forma nos dias atuais já está se consolidando no mercado de projetos a Modelagem da Informação da Construção, ou também conhecido por BIM. De acordo com Eastman et al. (2011) a modelagem BIM nada mais é que a integração entre o projeto e o processo de construção, o que leva a uma maior qualidade dos edifícios com uma redução do custo e da duração dos projetos. A comprovação disso tudo é afirmada por Nunes e Leão (2018), que mostraram a partir de resultados que a modelagem BIM tornou o processo de projetos 11% mais rápido e rentável quando comparado ao método CAD tradicional.

Dessa forma para um melhor entendimento acerca dos resultados positivos que os avanços computacionais estão trazendo a construção civil, viu-se a necessidade de demonstrar na prática a elaboração de um projeto residencial unifamiliar, analisando os avanços ocorridos em cada área a partir do uso do software.

## 2. METODOLOGIA

A elaboração do trabalho foi realizada a partir do desenvolvimento de um projeto residencial unifamiliar com área total construída de 205,87 m², que será executado na cidade de Marau-RS. Dessa forma, primeiramente fez-se a elaboração do projeto arquitetônico adequando o mesmo ao custo final estipulado pelo cliente, sendo de uma relação

CUB/m² de uma residência padrão médio de 97%. Após isso foi desenvolvido os projetos de fundação e estrutural, levando como base o terreno a qual será locado a residência, optando então por fundações superficiais (sapatas) e estrutura de concreto armado com lajes pré-moldadas. Dando seguimento elaborou-se os projetos de sistema de água fria, esgoto com tratamento contendo tanque séptico, filtro anaeróbio e sumidouro, pluvial e elétrico. Por fim então realizou-se a compatibilização de todos esses projetos, lembrando que todos eles foram elaborados utilizando-se ferramenta computacional (softwares).

## 3. RESULTADOS

Ao realizar uma linha do tempo no que se refere ao avanço na prática do desenvolvimento de projetos no setor da construção civil, percebe-se que em menos de 20 anos essa prática se transformou consideravelmente. Em relação a isso buscou-se apresentar a elaboração de uma residência unifamiliar desenvolvida na cidade de Marau-RS, sendo retratado a eficiência que os softwares trouxeram em cada área que juntos compreendem a construção civil. A seguir temos os avanços em cada área e a representação que hoje é realizada nos projetos.

### 3.1 Projeto Arquitetônico

Até o início do século XXI os arquitetos e engenheiros desenvolviam o projeto arquitetônico manualmente, ou seja, tinham que ter a habilidade de desenhar bastante aprimorada. Porém com o avanço da tecnologia os computadores passaram a ser mais acessíveis e então o cenário do projetista entrou em completa transformação. O braço de desenho deu lugar ao modelo do CAD, a fita métrica deu lugar a trena digital, os gabaritos deram lugar as famílias de blocos do CAD, e assim por diante outras mudanças ocorreram. A partir disso o software AutoCAD começou a ser muito utilizado sendo até hoje empregado no setor de projetos. Porém o seu uso se dá mais no formato 2D, sendo pouco utilizado para projeção tridimensional visto a sua maior complexidade. Segundo uma pesquisa realizada por Caron (2007) aonde o mesmo coletou informações de 86 escritórios de arquitetura e engenharia dispersados na região metropolitana de Curitiba, uma minoria relatou a utilização do CAD 3D. A Figura 1 expressa a fachada da residência de Marau-RS desenhada no AutoCAD 2018 em 2D.

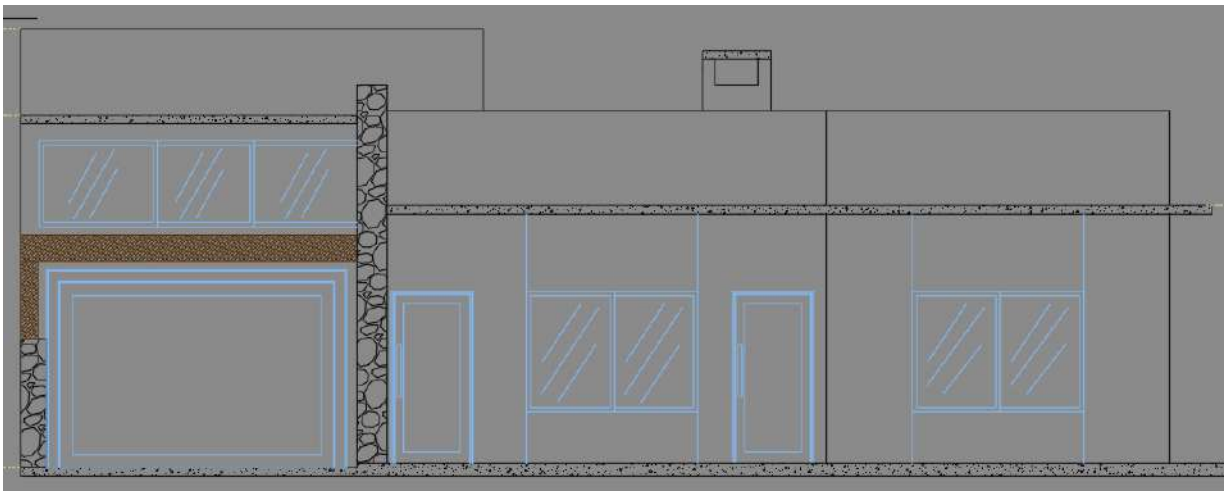


Figura 1. Fachada da residência de Marau-RS desenhada no AutoCAD 2018 em 2D.

Nos dias atuais os arquitetos e engenheiros na sua grande maioria quando se trata de projeto arquitetônico, migraram para o uso do software Revit. Esse software permite que o projetista desenhe em 2D e ao mesmo tempo informe as medidas corretas para ser realizado em conjunto o desenho em 3D. Além disso esse software vai automaticamente realizando uma planilha com o quantitativo de materiais, sem falar que no final a representação gráfica tridimensional do projeto é espetacular. Dessa forma com o uso do Revit os profissionais tem otimizado o seu tempo em diversas etapas que anteriormente era feitas separadamente e de maneira manual. A Figura 2 representa a fachada da residência de Marau-RS agora desenhada e renderizada pelo programa Revit 2018.



Figura 2. Fachada residência Marau-RS desenhada no Revit 2018 em 3D.

A partir da comparação visual da Fig. 1 com a Fig. 2 percebe-se a evolução que a ferramenta computacional está trazendo para o setor da construção civil. Na Fig. 2 o cliente acaba recebendo uma maior informação sobre as características da sua residência, visto a proximidade que essa imagem tem com a realidade.

Por fim para dar um último acabamento ao desenho, para impressionar ainda mais o cliente, e claro para ajudar o projetista a visualizar como ficará a residência depois de pronta, diversos softwares específicos para renderização existem no mercado. Nesse trabalho foi realizado a renderização a partir do software Lumion 8.0, a qual pode ser visualizada na Fig. 3 a seguir.



Figura 3. Fachada residência Marau-RS renderizada no software Lumion 8.0.

Ao falar em avanço computacional na área de projeto arquitetônico basta realizar a comparação das Fig. 1, 2 e 3. Na última percebe-se o quanto que os projetos nos dias de hoje chegam a beira da perfeição, muito próximos da realidade, podendo até mesmo ser comparada a uma foto. Dessa forma pode-se perceber a importância de se utilizar os softwares no mercado visto que um desenho realizado a mão jamais chegará próximo ao detalhamento que esses programas tem a oferecer.

### 3.2 Projeto de fundação e estrutural

Para a realização do projeto estrutural e de fundação superficial da residência de Marau-RS foi utilizado o software Eberick 2018. Assim como o software estrutural TQS, o Eberick vem sendo muito utilizado pelos profissionais. Nele foi lançado toda a estrutura, as cargas e depois analisados os esforços, sendo então na parte final gerado o detalhamento dos elementos estruturais. Um ótimo fator é que o software vem sempre atualizado com a norma da ABNT que está em vigor, e assim fornece uma maior confiabilidade aos usuários. A utilização de ferramenta computacional nessa etapa é

de grande importância visto que realizar o dimensionamento estrutural manualmente levaria muito tempo. A Figura 4 representa a estrutura e as sapatas da residência de Marau em 3D realizada no software Eberick 2018.

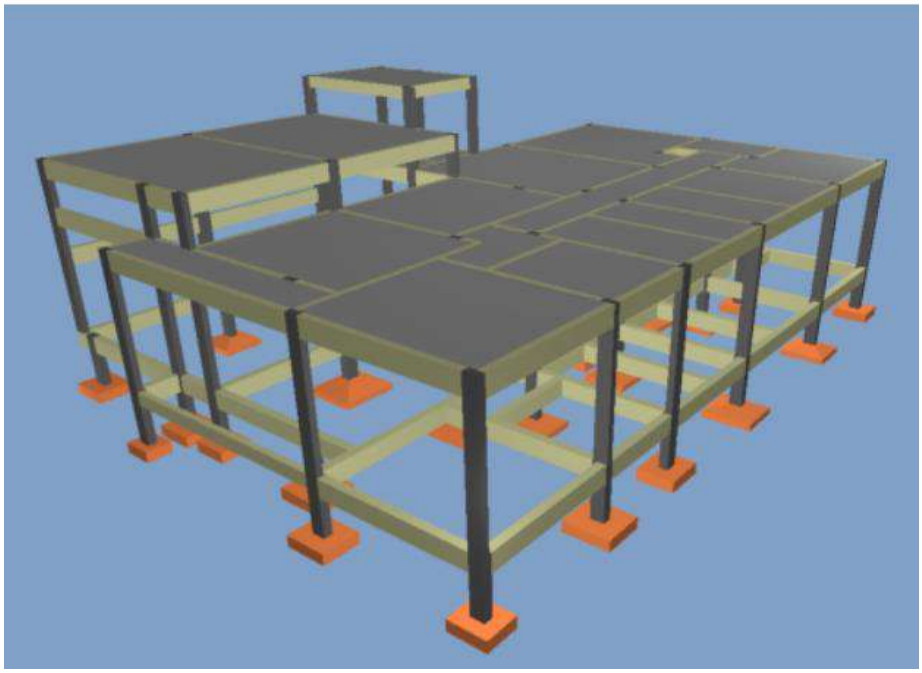


Figura 4. Estrutural e Fundação 3D software Eberick 2018.

Com a Figura 4 o profissional pode ter uma melhor visualização da distribuição da residência no terreno. Além disso a imagem em 3D permite a verificação de qualquer tipo de conflito que possa ocorrer entre os elementos estruturais e de fundação. Outro suporte que o software oferece é o quantitativo de materiais que serão utilizados, fazendo com que o profissional não precise fazer o mesmo item por item manualmente, o que levava um bom tempo para ser realizado. Na Tabela 1 tem-se uma parte do quantitativo gerado para a residência de Marau-RS.

Tabela 1. Resumo de Materiais Eberick 2018.

| Pavimento | Elemento | Peso do aço +10 % (kg) | Volume de concreto (m³) | Área de forma (m²) | Consumo de aço (kg/m³) | Peso treliças (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| laje 4m | Vigas | 36.2 | 0.6 | 10.1 | 59.8 | |
| | Pilares | 21.5 | 0.2 | 4.5 | 95.6 | |
| | Lajes | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | |
| | Escadas | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Fundações | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Total | 57.7 | 1.3 | 14.6 | 45.5 | 0.0 |
| laje 3m | Vigas | 71.2 | 1.6 | 25.1 | 44.9 | |
| | Pilares | 71.6 | 0.6 | 10.8 | 122.8 | |
| | Lajes | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | |
| | Escadas | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Fundações | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Total | 142.8 | 4.0 | 35.9 | 35.3 | 0.0 |
| térreo | Vigas | 557.0 | 10.5 | 167.4 | 53.2 | |
| | Pilares | 473.8 | 4.9 | 95.0 | 97.3 | |
| | Lajes | 0.0 | 7.2 | 0.0 | 0.0 | |
| | Escadas | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Fundações | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Total | 1030.8 | 22.6 | 262.4 | 45.7 | 0.0 |
| fundação | Vigas | 728.2 | 15.5 | 199.3 | 46.9 | |
| | Pilares | 292.1 | 3.3 | 55.4 | 89.5 | |
| | Lajes | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Escadas | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | Fundações | 241.7 | 8.0 | 29.2 | 30.1 | |
| | Total | 1262.0 | 26.8 | 283.8 | 47.1 | 0.0 |

### 3.3 Sistemas prediais

Os sistemas prediais compreendem os projetos de água quente e fria, esgoto, pluvial, gás, sistema de hidrante e elétrico. No caso da residência de Marau-RS foram elaborados os projetos de água fria, esgoto com tratamento individual dos efluentes, pluvial e elétrico. Para isso utilizou-se o software QiBuilder 2018, que possui ferramentas que otimizam e muito o tempo necessário para realização desses projetos. Uma dessas ferramentas é o lançamento automático das tubulações e conexões a qual cabe ao projetista apenas informar os pontos de utilização e então a ligação é feita pelo próprio software. Além disso o mesmo gera ao final uma planilha com o quantitativo de materiais, além de memorial de cálculo. Na Figura 5 pode-se visualizar em formato isométrico o lançamento das tubulações e conexões de água fria de uma parte da residência de Marau-RS.

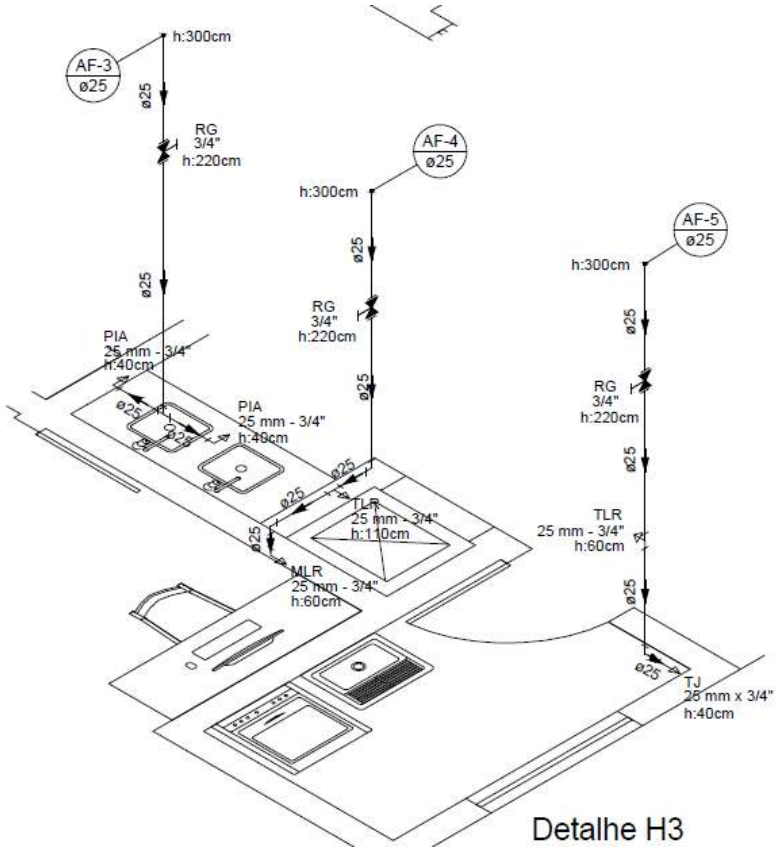



Figura 5. Isométrico água fria da residência de Marau-RS.

### 3.4 Compatibilização

Um dos grandes impactos dos avanços das ferramentas computacionais no ramo da construção civil é a possibilidade de unir todos os projetos em um mesmo desenho e assim verificar a compatibilização entre eles. Segundo Tavares Junior (2001) a compatibilização dos projetos é necessária para a melhoria da qualidade do mesmo visto a eliminação das não-conformidades apresentadas entre eles. Já Callegari (2007) afirma que a compatibilização consiste no gerenciamento e integração dos projetos, a partir da sincronização dos mesmos, eliminando os conflitos, simplificando a execução, otimizando tempo, mão de obra e possíveis manutenções futuras. Com isso após a realização de todos os projetos da residência de Marau, os mesmos foram todos unidos em um mesmo desenho, verificando possíveis interferências. A Figura 6 demonstra a compatibilização do sistema hidráulico e de esgoto com os elementos estruturais.

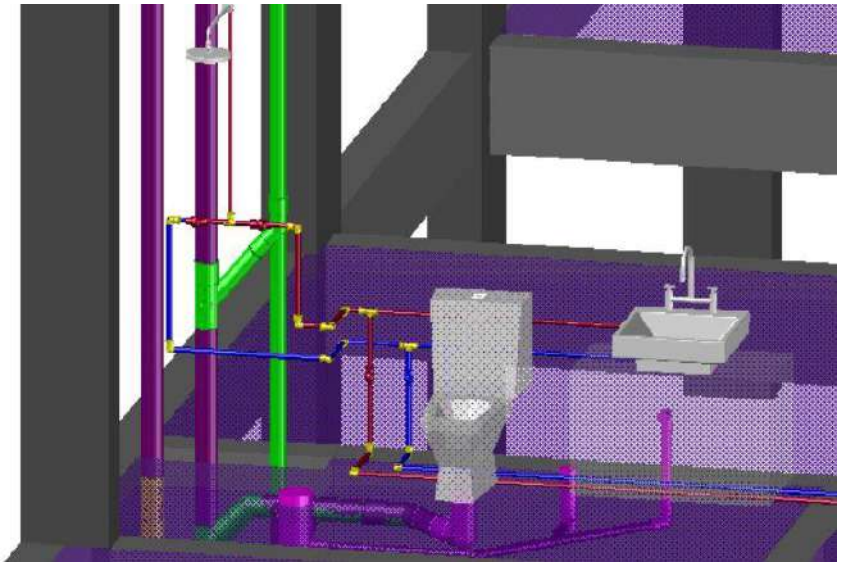


Figura 6. Compatibilização residência Marau-RS.

## 4. CONCLUSÃO

A ferramenta computacional se inseriu no ramo da construção civil para aprimorar e facilitar a elaboração e execução dos empreendimentos. Nos dias de hoje no mercado existem diversos softwares para as diversas áreas que englobam a construção, como estrutural, fundações, sistemas prediais, arquitetônico, compatibilização. Portanto cada vez mais será indispensável aos arquitetos e engenheiros civis o conhecimento dessas ferramentas que acabam por otimizar os processos para elaboração de um projeto. A ideia de dimensionar uma residência, um prédio de maneira manual, realizando os cálculos sem a ajuda de um computador (software) já ficou para trás, ou seja, já está desatualizado com o mercado atual da construção civil. Como pode ser visto no presente trabalho, a elaboração da residência unifamiliar na cidade de Marau-RS se deu toda ela a partir do uso de softwares que possibilitaram a sua elaboração em um curto período de tempo, cerca de 1 semana, sem falar que auxiliou na satisfação do cliente visto que o mesmo desde o início teve a percepção de como ficaria a residência depois de executada. Portanto a integração de TI com o ramo da construção civil é uma realidade que já está comprovada tanto na teoria quanto na prática, e dessa maneira cabe aos profissionais da área se manterem atualizados já que este é um setor cuja transformação é quase que diária.

## 5. REFERENCIAS

CALLEGARI, S. **Análise da Compatibilização de Projetos em Três Edifícios Residenciais Multifamiliares.** Dissertação – Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

CARON, A.M. **A utilização de tecnologias de informação em escritórios de projeto – um levantamento na região metropolitana da cidade de Curitiba.** Curitiba, 2007. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná.

EASTMAN, Chales et al. **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors.** Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 648 p. 2ª ed.

NASCIMENTO, L. A. do; SANTOS, E. T. **Barreiras para o uso da tecnologia da informação na indústria da construção civil.** In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2002.

NUNES, G.H.; LEÃO, M. **Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM.** Revista de Engenharia Civil. Mato Grosso, 2018.

SCHODEK, D.; BECHTHOLD. M.; GRIGGS, J. K.; KAO, K.; STEINBERG, M. **Digital Design and Manufacturing: CAD/CAN Aplications in INC.** New Jersey: John Willey & Sons, 2007.

TAVARES JUNIOR, W. **Desenvolvimento de um modelo para compatibilização das interfaces do projeto de edificações em empresas construtoras de pequeno porte.** Florianópolis, 2001. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# SIMULAÇÃO DE EIXOS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA POR ELEMENTOS FINITOS NO ANSYS WORKBENCH E COMPARAÇÃO COM O SISTEMA MSBFEA

**Kátia Andressa Zanella**
**Tancredo Westphal Junior**
Avenida Sete de Setembro, 1621 – Centro, Erechim - RS
zanellakatia@hotmail.com, tancredo@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O presente trabalho é baseado em um estudo aplicando a teoria da elasticidade juntamente com o método dos elementos finitos (MEF) para análise de torção de eixos de transmissão de potência. Foram analisados três problemas, cujas simulações numéricas foram realizadas no programa Ansys Workbench: um eixo escalonado com dois elementos submetidos a torção, um eixo com um elemento e dez graus de liberdade e o eixo do exemplo de Collins (2013, p. 290). Este último é um eixo com três trechos, com mancais e engrenagens nas extremidades dos trechos. Os resultados foram comparados com soluções analíticas e com o sistema MSBFEA (Maple System Based Finite Element Analysis), que convergiram para as soluções de referência.*

***Palavras chave:*** *Teoria da elasticidade. Método dos elementos finitos (MEF). Eixos de transmissão de potência. Ansys. MSBFEA.*

## 1. INTRODUÇÃO

Eixos de transmissão de potência são utilizados em várias partes de máquinas rotativas para transmitir movimento de rotação e torque de um local para outro. Assim, para o seu dimensionamento é necessário projetar eixos, os quais são submetidos a torção e tem acoplados outros elementos mecânicos, tais como engrenagens, polias de correia, rodas dentadas, etc. Os eixos são suportados por mancais e geralmente apresentam seções circulares variáveis (COLLINS, 2013).

O método dos elementos finitos (MEF) é um método numérico para resolver problemas de engenharia, sendo possível avaliar os efeitos de diversos parâmetros, tais como escolha de material e geometria. No presente estudo foi utilizado um programa de simulação, o *Ansys Workbench*, que permite fazer a modelagem e resolução do problema proposto, trazendo resultados precisos e satisfatórios (CHEN e LIU, 2015).

Outro programa muito utilizado para resolver problemas de engenharia é o *Maple*, que apesar de não ser um programa de elementos finitos pode resolver problemas de elementos finitos através da sua programação. Um sistema desenvolvido para este fim é o MSBFEA (*Maple System Based Finite Element Analysis*), foi desenvolvido na URI-Erechim, que trabalha em três módulos: MSBFEA-PRE: responsável pela modelagem da estrutura, MSBFEA-FEM: responsável pela realização dos cálculos do MEF determinando deslocamentos e forças nodais generalizadas e MSBFEA-POS: responsável pela plotagem de gráficos e diagramas.

O presente trabalho tem por objetivo simular eixos de transmissão de potência com diversos elementos acoplados (engrenagens, polias, etc.), seções transversais variadas, com detalhes como raios de concordância, chavetas e furos, fazendo a modelagem tridimensional (3D) de todo o conjunto.

## 2. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Segundo Oñate (2009), o método dos elementos finitos (MEF) é um procedimento de solução numérica para equações que regem os problemas físicos na natureza. Normalmente os mesmos podem ser expressos na forma integral ou diferencial. Por esta razão o MEF é entendido, entre os matemáticos, como uma técnica numérica para solução de equações diferenciais e integrais. Geralmente, o MEF permite que os usuários obtenham a evolução no espaço e/ou tempo de uma ou mais variáveis representando o comportamento físico do sistema.

Conforme observado por Vaz (2011), o MEF foi um desenvolvimento natural baseado na formulação de deslocamentos da análise de estruturas reticuladas, impulsionado pelo crescimento do uso de computadores em universidades e centros de pesquisa. Para Zienkiewicz e Taylor (2000), em muitas situações um modelo adequado é obtido utilizando um número finito de elementos bem definidos. Em outros casos a subdivisão é continuada indefinidamente e

o problema só pode ser definido utilizando formulações matemáticas de um elemento infinitesimal, o que leva a equações diferenciais que implicam em um número infinito de elementos, constituindo um sistema contínuo. A discretização de problemas contínuos pode ser aproximada por meio de duas vertentes: por matemáticos e por engenheiros. Os matemáticos aplicam a técnica de equações diferenciais governantes ao problema e os engenheiros, por outro lado, aproximam o problema de modo mais intuitivo, fazendo analogia entre elementos discretos reais e parcelas finitas de um domínio contínuo. A partir dessa analogia direta, feita por engenheiros, é que nasce o termo elementos finitos.

### 2.1 Ansys Workbench

O Ansys Workbench é um programa computacional que permite realizar a modelagem e resolução de diversos problemas de engenharia usando o MEF (CHEN e LIU, 2015). Os passos básicos para a análise de elementos finitos são:

- Pré-processamento: etapa onde são inseridos os tipos de elementos utilizados, as características dos materiais, a geometria e a divisão da estrutura;
- Solução: etapa onde é definido o tipo de análise (estática, modal, etc), as condições de contorno e os carregamentos aplicados.
- Pós-processamento: etapa onde é possível extrair e visualizar os resultados obtidos devido às cargas aplicadas.

O pacote Workbench foi desenvolvido para proporcionar diversas simulações a serem realizadas em problemas de engenharia. O pacote é organizado em guias e etapas para facilitar o uso e entendimento do usuário. Quando o programa é iniciado, uma caixa de ferramentas é disponibilizada, podendo-se inserir a geometria, impor as condições de contorno, resolver o problema específico e gerar resultados.

### 2.2 Aplicações

Foram resolvidos alguns projetos de torção de eixos aplicando o método dos elementos finitos (MEF) usando o Ansys Workbench, sendo feitas comparações dos resultados obtidos com o sistema MSBFEA. O Projeto 01, Fig. 1, é o exemplo de Byars e Snyder (1963, p. 195), que considera um eixo engastado na extremidade direita, tendo três nós e dois elementos, carregado com torção nos dois primeiros nós, sendo que cada nó tem apenas um grau de liberdade.

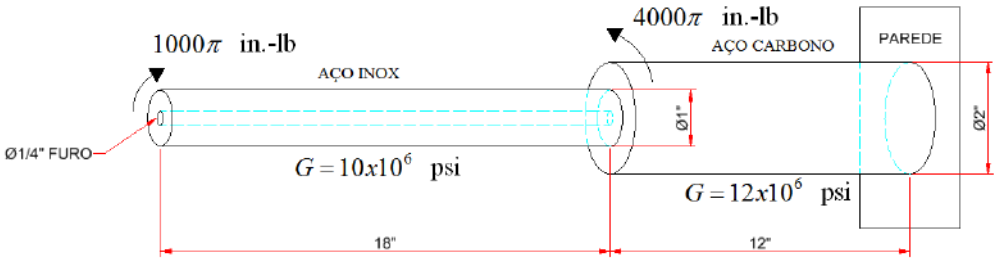



Figura 1 - Projeto 01.

Após gerada a malha com elementos tetraédricos e sem refinamento (Fig. 2) foram aplicadas as forças atuantes e restrições de movimentos, como engastes e faces de aplicação de momento, conforme mostra a Fig. 3.

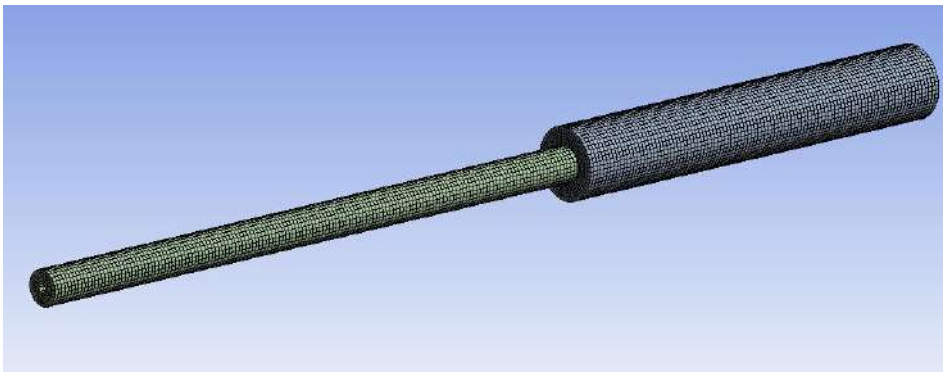


Figura 2 – Malha utilizada no eixo escalonado.

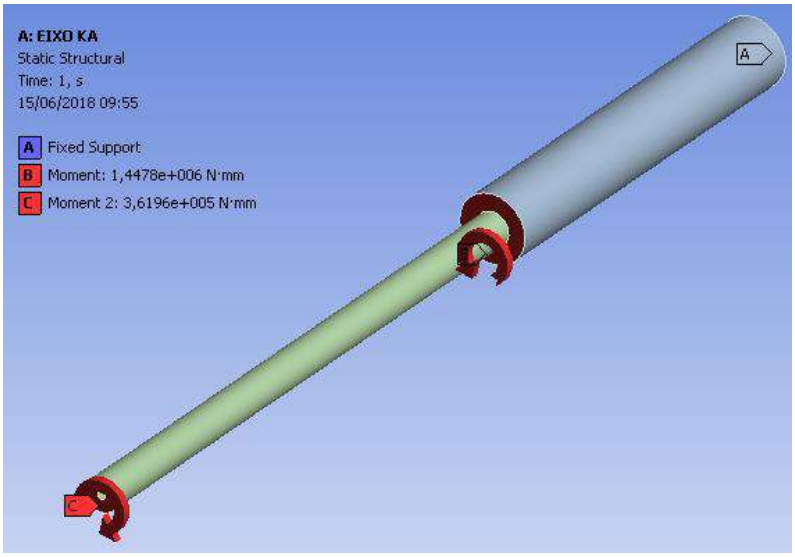



Figura 3 – Condições de contorno.

A Fig. 4 apresenta o resultado obtido pelo Ansys para o eixo escalonado, sendo que o sinal negativo é consequência do sentido da aplicação do momento.

Details of "Flexible Rotation Probe"

| | |
|---|---|
| **Definition** | |
| Type | Flexible Rotation |
| Location Method | Remote Points |
| Remote Points | Remote Point |
| Suppressed | No |
| **Options** | |
| Result Selection | Z Axis |
| Display Time | End Time |
| **Results** | |
| **Maximum Value Over Time** | |
| Z Axis | -2,9825 ° |
| **Minimum Value Over Time** | |
| Z Axis | -2,9825 ° |
| **Information** | |

Figura 4 – Resultado Projeto 01.

Os resultados obtidos com o Ansys são comparados com aqueles de Byars e Snyder (1963, p. 195) e com o sistema MSBFEA, conforme apresentado na Tab. 1. Observa-se a boa concordância entre os resultados, com erro percentual de 1,01% em relação a Byars e Snyder (1963).

Tabela 1 - Comparação de resultados.

| Analítica de Byars e Snyder (1963) [Graus] | Ansys [Graus] | MSBFEA [Graus] |
|---|---|---|
| 2,95 | 2,98 | 2,97 |

O Projeto 02, Fig. 5, consiste de um eixo engastado na extremidade esquerda, com dois nós e um elemento, sendo que cada nó possui cinco graus de liberdade. Após a modelagem do eixo foram definidas as condições de contorno e carregamento aplicados. Para esta simulação foi possível avaliar o ângulo de torção na extremidade livre.

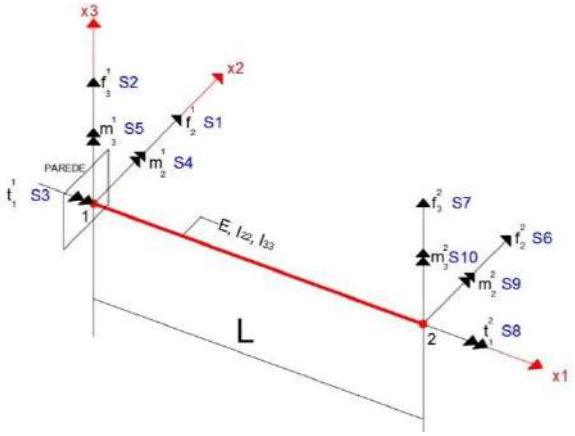



Figura 5 – Projeto 02.

A Fig. 6 apresenta o resultado obtido pelo Ansys. O ângulo encontrado foi de 0,36°. Comparando este resultado com a solução analítica houve um erro percentual de 28%, conforme mostra a Tab. 2. Tal diferença ocorre em função do Ansys fornecer um resultado da teoria tridimensional da elasticidade, sendo a solução analítica referente a uma aproximação unidimensional.

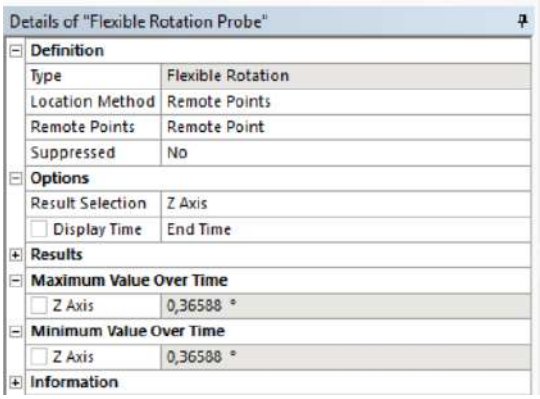



Figura 6 – Resultado Projeto 02.

Tabela 2 - Comparação de resultados.

| Analítica [graus] | Ansys [graus] | Diferença de resultados [%] |
|---|---|---|
| 0,28 | 0,36 | 28 |

No Projeto 03, Fig. 7, foi resolvido o exemplo de Collins (2013, p. 290), que consiste em um eixo com quatro nós e três elementos, sendo dois nós com ações concentradas (nós 2 e 4) e três nós com forças de reação (nós 1, 3 e 4).

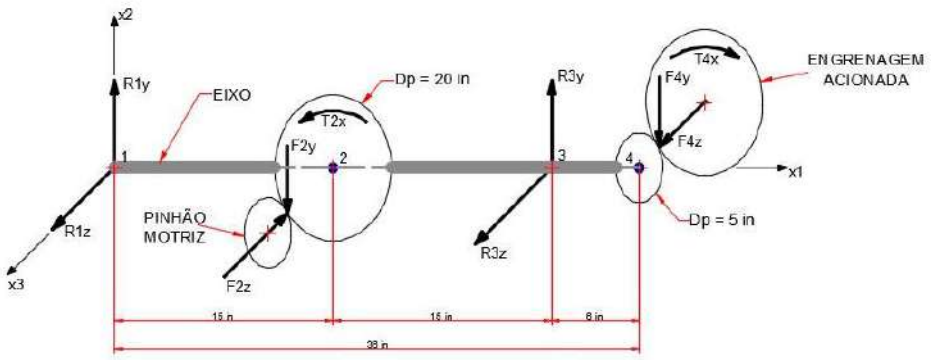



Figura 7 – Projeto 03.

Para a realização da análise foi modelado um eixo cilíndrico, conforme mostra a Fig. 8. Nesta avaliação, o diâmetro inicial do eixo não influenciou nos resultados, apenas serviu de base para encontrar a geometria ideal. Esta é a justificativa para a escolha de um diâmetro contínuo.

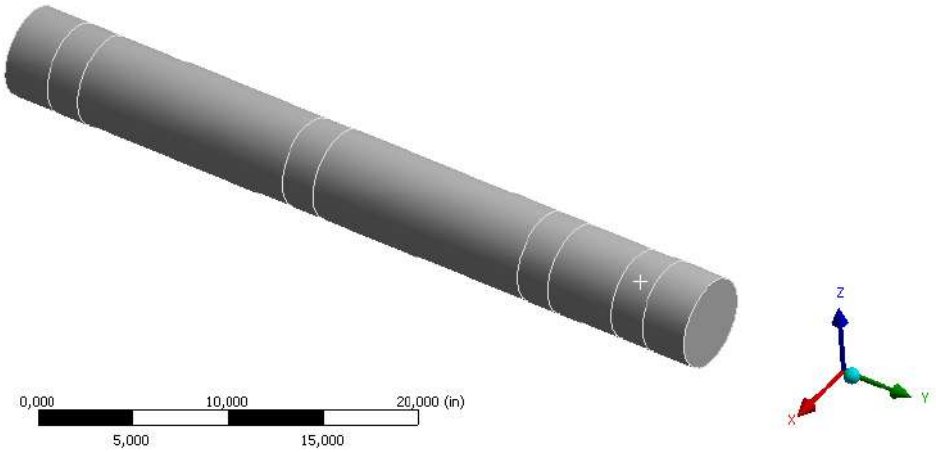



Figura 8 – Modelagem do eixo para o exemplo Collins.

Após gerada a malha foram definidas as condições de contorno, que são as forças atuantes e restrições de movimento. A condição deste projeto é de eixo apoiado por mancais (pontos 1 e 3 na Figura 4.17), um torque transmitido por engrenagem (ponto 2 na Figura 4.17) e a transmissão deste torque até um pinhão (ponto 4). A Fig. 9 apresenta a aplicação destas condições de contorno no eixo avaliado.

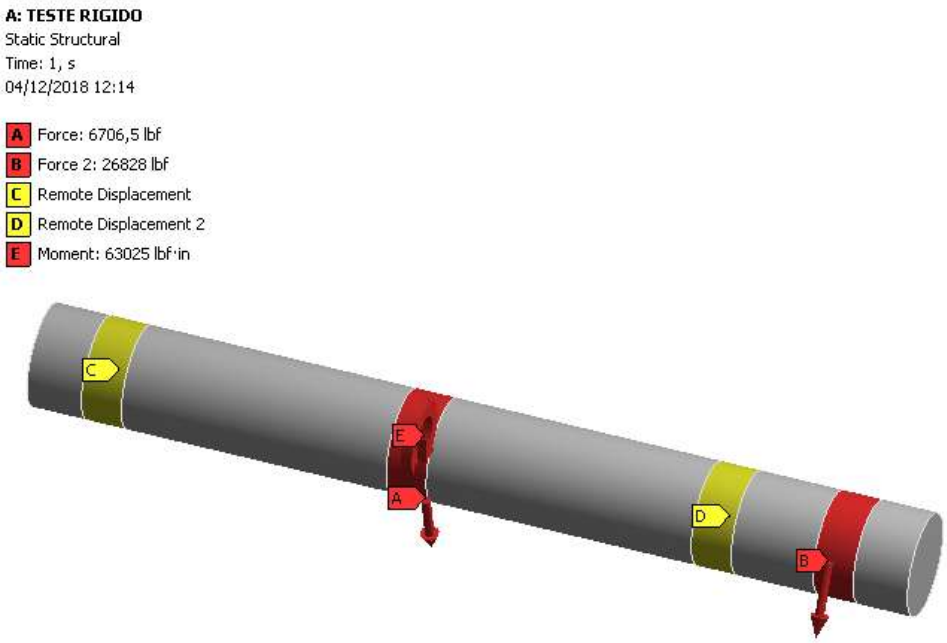



Figura 9 – Condições de contorno.

O objetivo desta análise foi a obtenção das forças de reação e dos momentos fletores em cada um dos pontos analisados. A Tab. 3 mostra uma comparação de resultados entre as reações encontradas por Collins (2013, p. 290) e pelo programa Ansys. Observa-se boa concordância entre os resultados. O erro encontrado não ultrapassa 0,002%.

Tabela 3 - Comparação de resultados.

| Nó | Direção | Reação Collins | Reação Ansys |
|---|---|---|---|
| 1 | $x_2$ | $-1891\ lbf$ | $-1891\ lbf$ |
| 1 | $x_3$ | $2982\ lbf$ | $2982{,}2\ lbf$ |
| 3 | $x_2$ | $33403\ lbf$ | $33403\ lbf$ |
| 3 | $x_3$ | $-9864\ lbf$ | $-9864{,}2\ lbf$ |

A Tab. 4 apresenta os momentos fletores para cada ponto em avaliação, comparado com os resultados encontrados por Collins (2013) e o sistema MSBFEA. Observa-se que nas três formas de análise do problema houve similaridade entre os resultados.

Tabela 4 - Comparação de resultados.

| | Collins (2013, p. 290) | Ansys | MSBFEA |
|---|---|---|---|
| MA | 0 | 0 | 0 |
| MB | 52966 $lbf.in$ | 52968 $lbf.in$ | 52968,05 $lbf.in$ |
| MC | 160968 $lbf.in$ | 160970 $lbf.in$ | 160968,16 $lbf.in$ |
| MD | 0 | 0 | 0 |

## 3. CONCLUSÕES

No Projeto 01 a simulação numérica apresentou um erro percentual de 1,01% em relação à solução analítica de Byars e Snyder (1963). No Projeto 02 a simulação numérica apresentou um erro percentual de 28% em relação à solução analítica. Tal diferença ocorre em função do Ansys fornecer um resultado da teoria tridimensional da elasticidade, sendo a solução analítica referente a uma aproximação unidimensional. No Projeto 03 o erro foi de 0,02% entre o programa Ansys e a solução analítica.

O programa Ansys mostrou-se muito eficiente para todas as simulações realizadas envolvendo torção de eixos, obtendo resultados com erros percentuais pequenos.

## 4. REFERÊNCIAS

BYARS, E.F.; SNYDER, R.D. Engineering mechanics of deformable bodies. 3ª ed. Nova Iorque: Intext, 1963.

CHEN, X., LIU, Y. Finite element modeling and simulation with Ansys Workbench. 2015.

COLLINS, J.A. Projeto mecânico de elementos de máquinas. Uma perspectiva de prevenção da falha. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

OÑATE, E. Structural analysis with the finite element method. Linear statics. Volume 1. Basis and solids. Springer, 2009.

VAZ, L.E. Método dos elementos finitos em análise de estruturas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ZANELLA, K.A. Simulação de eixos de transmissão de potência por elementos finitos no Ansys Workbench e comparação com o sistema MSBFEA. Trabalho de Final de Curso Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Câmpus de Erechim, 2018.

ZIENKIEWICZ, O.C. e TAYLOR, R.L. The finite element method. Volume 1: The basis. 5ª ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2000.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FUNDAÇÕES ATRAVÉS DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

**Deise Trevizan Pelissaro**
**Mateus Badalotti Santin**
**Matheus Rafael Dal Ponte**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
deisetrevizan@uricer.edu.br
mateusbsantin@gmail.com
matheus-dal-ponte-08@windowslive.com

**Resumo:** *De um modo geral os projetos estruturais são calculados separadamente em duas etapas: superestrutura e infraestrutura. Frente a dificuldade em analisar manualmente edifícios sobre apoios flexívieis, com frequência a hipótese de apoios totalmente rígidos (fundações engastadas ou rotuladas) para as condições de vinculação de edifícios em concreto armado é utilizada. No entanto tendo em vista o grande avanço tecnológico em softwares direcionados a cálculos estruturais, a análise da Interação Solo- Estutura (ISE) se tornou mais realista levando em consideração a deformabilidade do solo adjacente às fundações. Dessa forma este trabalho teve como objetivo apresentar um comparativo entre as duas análises, através de um modelo computacional, levando em consideração a ISE. O software computacional de cálculo estrutural utilizado foi o Eberick®. A análise dos resultados permitiu observar a importância da consideração dos efeitos da ISE, uma vez que ao incluí-los ocorreu uma redistribuição das tensões e consequentemente alterações nos deslocamentos verticais dos elmentos de fundação. Além disso os resultados mostraram comportamentos que sem a consideração da ISE não seria possível de prever, além de este tipo de análise representar uma condição mais realista.*

**Palavras chave:** *Interação Solo-Estrutura. Eberick. Tensões. Deslocamentos verticais.*

## 1. INTRODUÇÃO

O papel da engenharia como forma de melhorar o padrão de vida da população associado ao grande crescimento populacional, ao amplo conhecimento e todas habilidades que se desenvolvem gradativamente, impulsionam a criação de estruturas cada vez maiores e mais eficientes. Frente a essa demanda, a engenharia, tem o desafio de projetar de forma segura e econômica atendendo a todas as exigências que o mercado solicita. Para que isso seja possível, é de extrema importância a utilização de métodos e técnicas que permitam a melhor aproximação do comportamento real da edificação ainda em fase de projeto.

Conforme Antoniazzi (2011), é possível observar mediante o avanço tecnológico, em softwares computacionais para cálculos estruturais, que ainda muito se utiliza simplificações para o dimensionamento de estruturas. Isto ocorre pelo fato de não existir uma metodologia concisa capaz de aliar os softwares com as técnicas construtivas existentes.

Ao avaliar qual a real reação do solo após a aplicação das cargas de construção e utilização, pode-se notar distinções com os resultados obtidos no dimensionamento com apoios indeslocáveis. Este método de dimensionamento desconsidera a deformabilidade do maciço do solo e também não considera os coeficientes de rigidez local na infraestrutura e global da estrutura. Dessa forma sem haver interação entre a estrutura e o solo, não são previstas alterações no conjunto da edificação resultando em parâmetros de projetos de deslocamentos incoerentes com a real situação do solo.

Determinado projeto que não seria viável tecnicamente de ser executado pelos recalques previstos no modo convencional, em uma segunda análise, portando os efeitos da interação solo-estrutura, traz consigo a tendência de suavização dos recalques no conjunto todo e possivelmente aprovação técnica condizente com o real comportamento da estrutura (De Aalmeida, et al, 2014).

Ainda segundo De Almeida et al. (2014) outro ponto a se ressaltar é que ao desconsiderar os efeitos do solo e da estrutura em conjunto e seus efeitos, os coeficientes de segurança admitidos na infraestrutura como também na

superestrutura não estarão sendo atendidos. Pois algumas regiões serão mais solicitadas que o previsto, por consequência também outras regiões serão menos solicitadas, e estas imprecisões não foram consideradas nas hipóteses de cálculo, trazendo risco ao uso da estrutura ou superdimensionamento da mesma.

Desta forma, propõem-se com essa pesquisa um estudo através de métodos computacionais da influência que a ISE implicará nos esforços e deslocamentos da edificação, com a finalidade de evidenciar a importância da consideração dessa metodologia no projeto estrutural.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Colares (2006) o termo ISE compreende um vasto campo de estudo, abrangendo todos tipos de estruturas que mantêm contato com o solo, como por exemplo, estruturas de edifícios, pontes, silos e muros de arrimo. Ainda, conforme o referido autor, essa análise começa na fase de construção e prossegue até que se obtenha um estado de equilíbrio, quando as tensões e deformações da estrutura e também dos maciços do solo se estabilizem.

Geralmente este mecanismo não é levado em consideração, pois os princípios fundamentais da ISE são ainda pouco compreendidos, uma vez que essa abordagem é tratada de maneira limitada pela literatura.

Colares (2006) relata ainda que análises levando em consideração a ISE acarretam na redistribuição dos esforços nos três elementos estruturais, mas principalmente nos pilares, ocorrendo transferência de esforços dos pilares mais carregados para os menos carregados, podendo ocasionar o esmagamento destas peças, devido à sobrecarga não calculada no dimensionamento convencional. Assim sendo, também ocorrem alterações nos valores dos recalques, principalmente nos diferenciais.

Nesse sentido Soares (2014) avaliou quais partes da estrutura estão mais propicias a diferenças no dimensionamento ao se considerar a ISE e evidenciou que os primeiros pavimentos da edificação estão mais sucetivos a essas alterações, tanto por modificar as cargas verticais como também os momentos fletores dos elementos estruturais.

Além disso, conforme Iwamoto (2000), a ISE permite ao calculista estimar os efeitos da redistribuição de esforços nos elementos estruturais e também a intensidade que os recalques afetam a estrutura, contribuindo significativamente para a conclusão de um projeto mais eficiente, confiável e próximo da realidade. Somente ao amenizar recalques diferenciais, pode estar se evitando grandes patologias ou então reduzir drasticamente as chances de sua aparição.

Ao avaliar determinada estrutura que não seria viável tecnicamente de ser construída devido aos recalques estimados pelo método convencional, observa-se que considerando a ISE, os apoios tornam-se deslocáveis e ocorre uma redistribuição dos esforços. Essas alterações apresentam novos valores de recalques, estes possivelmente mais suaves que na primeira análise e possivelmente essa estrutura poderia ser executada, pois estaria de acordo com as normas vigentes. (Antoniazzi, 2011).

### 2.1 Dificuldades da modelagem ISE

Gusmão Filho (2002) menciona alguns aspectos que dificultam a modelagem da ISE, sendo esses em relação a superestrutura, infraestrutura e o maciço do solo. Na infraestrutura, o referido autor, cita que a maneira como ocorre a transferência de carga da superestrutura para o maciço do solo é abstruso, até mesmo por que desde o modo como será executada a fundação exerce interferência na transferência de carga. Além disso os parâmetros dos solos adotados representam apenas uma parcela do terreno, o que incertamente abrangem o seu comportamento como um todo. Quanto à superestrutura, as interferências dizem respeito ao modo em que se íntegra o processo construtivo, o carregamento externo e também as características reológicas dos materiais a serem utilizado.

Segundo Scarlat (1993), do ponto de vista teórico, o método mais preciso para se considerar a deformabilidade do solo é por meio de uma análise interativa tridimensional, na qual o solo e a estrutura são idealizados como um sistema único. Neste tipo de análise, o solo é considerado até os limites em que os efeitos de tensão possam ser desprezados e, neste caso, a existência de apoios para os limites não teriam efeito algum sobre a resposta da ISE. De acordo com Alves et al. (2008), infelizmente esse tipo de análise é muito sofisticado e requer métodos numéricos, como, por exemplo, o Método dos Elementos Finitos. Dessa maneira, este processo está ao alcance de poucos profissionais, e normalmente são necessários grande experiência anterior e conhecimento aprofundado a respeito de modelos constitutivos. Por esse motivo, tal alternativa tem sido empregada apenas no meio científico e eventualmente no meio prático, quando a importância do problema justifica esse tipo de análise. Scarlat (1993) relata que uma maneira mais simplificada de quantificar o efeito da deformabilidade dos solos, embora menos precisa que a análise interativa, considerando o meio contínuo tridimensional, consiste em considerar uma série de molas discretas sob a base da fundação. Estas molas são representadas pelo coeficiente de apoio elástico Ks (kN/m), que é diretamente proporcional ao módulo de reação ki (kN/ m³) e inversamente proporcional à área carregada. Assim como Scarlat (1993), Shukla (1984) também apresenta abordagem simplificada para a determinação do módulo de reação. Esse procedimento simplificado é baseado na Hipótese de Winkler e negligencia a interação das molas adjacentes, e os erros tendem a crescer para o caso de solos pouco rígidos. Para o caso de deformação vertical, a Hipótese de Winkler é dada pela Equação (1):

$$K_v = \frac{\sigma}{\rho} \quad (1)$$

Em que,

$K_v$: módulo de reação vertical do solo;
$\sigma$: tensão média aplicada na base da fundação;
$\rho$: recalque médio da fundação.

As teorias de Winkler admitem que o recalque de uma fundação é diretamente proporcional às tensões de contato entre a sapata e o solo e por depender de fatores como a forma e a dimensão da fundação, o modulo de reação vertical ($kv$) não é uma constante (Moraes, 1976). Pode-se determinar seu valor de diversas maneiras, sendo as citadas as seguir as mais utilizadas:

a) Ensaio de Placa
b) Valores padronizados

## 2.2 Ensaio de Placa

Dentre as diversas formas para obtenção da previsão de recalques imediatos de sapatas tem-se as provas de carga sobre placa. Trata-se de um ensaio a compressão realizado diretamente na superfície ou profundidade definida do terreno a construir, por meio de uma placa metálica rígida, com área não inferior a 0,5m². São aplicadas cargas verticais no centro da placa, gradativamente, medindo as deformações simultaneamente as adições de carregamento.

Por meio do ensaio de placa pode-se determinar o módulo de reação vertical de um solo, o qual permite traçar uma curva tensão x recalque representando o comportamento da deformabilidade do solo. Segundo Décourt e Quaresma Filho (1996), o ensaio de placa é a maneira mais apropriada para se obter as características de carga-recalque das fundações, mas acaba não sendo muito usual pelo alto custo e o longo período de tempo para sua execução, o que acaba limitando a quantidade de repetições.

De acordo com Cintra e Albiero (1998), além de prever o recalque imediato de uma fundação, o ensaio de placa também determina a taxa de trabalho do solo. O ensaio é mais eficiente em terrenos em que a deformabilidade é praticamente imediata ao carregamento das cargas, logo sendo empregado inicialmente em terrenos pedregulhosos, arenoso e silte-arenosos, e posteriormente em terrenos com baixo grau de saturação, sendo os argilosos e silto-argilosos. (Barata, 1986).

Alonso (1991) argumenta ainda que o resultado do ensaio de placa só pode ser utilizado para a fundação real, caso os bulbos de tensões de ambos estiverem contidos em solos com mesmas características de resistência e deformabilidade. Em caso de camadas compressíveis mais profundas, que não são solicitadas pela placa, mas apenas pela fundação real, o ensaio de placa só terá aplicação se o tamanho da placa for aumentado de forma que o bulbo de tensões esteja englobando as mesmas camadas.

## 2.3 Valores padronizados

Quando não existirem dados precisos ou até mesmo não for realizado ensaios com o solo do local onde será construída a edificação, deve-se atribuir valores já exemplificados por autores que anteriormente estudaram a interação solo-estrutura e que estimam valores para cada tipo de solo. (Mendes, 2016).

Ehlers (1962) apresentou os valores da Tabela 1, a fim de obter o modulo de reação vertical estimado para alguns tipos de solo.

Tabela 1- Módulo de reação vertical proposto por Ehlers (1962).

| **Valores de $K_{v1}$ (kN/m³)** | |
|---|---|
| Turfa leve – solo pantanoso | 5.000 a 10.000 |
| Turfa pesada – solo pantanoso | 10.000 a 15.000 |
| Areia fina de praia | 10.000 a 15.000 |
| Aterro de silte, areia e cascalho | 10.000 a 20.000 |
| Argila molhada | 20.000 a 30.000 |

O uso de tabelas de valores padronizados não é indicado para a obtenção do módulo de reação vertical do solo, devido à grande variabilidade de características que o solo apresenta em diferentes pontos. Mas ainda assim pode ser um indicativo da ordem de grandeza dos valores que podem ser utilizados.

## 3. METOLOGIA

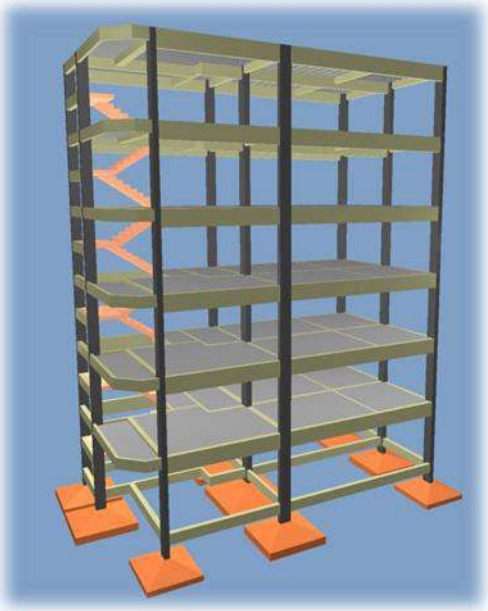
Na sequência são descritos os procedimentos e métodos utilizados para avaliar a influência que da ISE nos esforços da estrutura, que por sua vez redistribuíram os mesmos, ocasionando em uma nova configuração das tensões internas dos elementos da superestrutura. Esta pesquisa se configura como experimental qualitativa, onde foram apresentados dados para evidenciar a importância da ISE.

O processo de constituiu em inicialmente utilizar uma edificação modelo, a qual foi processada no software de cálculo estrutural Eberick® de modo convencional, ou seja, sem a consideração da ISE, e portanto com seus vínculos de fundação indeslocáveis. Foram obtidos os coeficientes de reação vertical e horizontal através dos valores dos recalques calculados a partir das reações da superestrutura. Os coeficientes serviram como constantes de mola, que aplicados nas fundações, simularam um meio elástico. Dessa forma, a estrutura foi processada novamente comparando as tensões internas aplicadas nos elementos estruturais com os do primeiro processamento, seguindo dessa maneira iterativamente até alcançar a convergência dos valores do recalque ou até que os mesmos não variassem mais o seu valor.

### 3.1 Modelagem e lançamento da estrutura

Inicialmente adotou-se um relatório de sondagem da cidade de Erechim – RS, o qual apresentou predominantemente solo argiloso. Segundo a tensão admissível do solo do referido laudo, as fundações de um edifício de 7 pavimentos, conforme Figura 1, foram assentadas na profundidade de 2 metros.

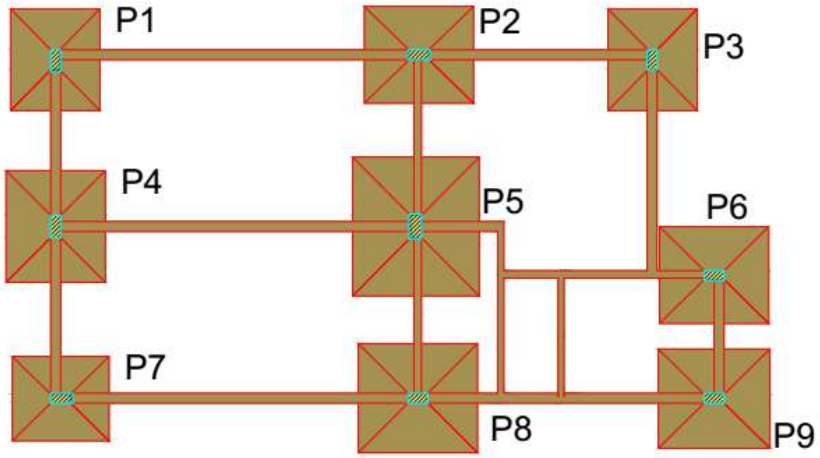
Figura 1 – Estrutura utilizada na análise



Fonte: Autor.

A denominação e disposição dos elementos de fundação é apresentada na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Disposição dos elementos de fundação em planta baixa




Fonte: Autor.

Quando concluída a etapa descrita anteriormente, foi possível processar a estrutura no software através da análise considerando os elementos indeslocáveis. Foram obtidos os esforços a que cada elemento estava submetido, os quais são utilizados como esforços de referência que foram comparados com os esforços após o processamento da estrutura com a consideração da ISE.

De posse dos esforços dos elementos de fundação foi elaborada uma planilha no programa Microsoft Excel, para verificação dos recalques em cada elemento, como também a determinação do coeficiente de reação vertical.

Com o coeficiente de reação vertical calculado e estimado pela primeira vez, trocou-se o sistema de análise no software Eberick, alterando as vinculações das sapatas de engastadas (vínculos indeslocaveis), para personalizado (vínculos deslocáveis), alimentando cada sapata com seu respectivo coeficiente de reação vertical após cada interação.

A determinação do coeficiente de reação vertical foi obtida em sucessivas interações por meio da planilha de recalques dos elementos e a redistribuição de carga gerada pelo software Eberick. A interação se dá após cada verificação do coeficiente de reação vertical, sequente a nova análise pelo software, até que a redistribuição de esforços se estabilize ou não sofra alterações significativas na influência do recalque.

.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados a serem comparados e analisados correspondem aos definidos como parâmetro de referência, atribuído aos dados obtidos através do processamento da estrutura com vínculos rígidos, que não considera a influência da ISE. Desse modo foi realizada uma comparação desses dados e resultados iniciais com os extraídos após a finalização do processo iterativo.

### 4.1 Carregamentos da estrutura

O primeiro item a ser analisado foi o carregamento da estrutura. As cargas provenientes da superestrutura que formam as reações de apoio aplicadas na fundação sofreram alterações. Essa variação dos valores das cargas se deve a relocação das cargas, ou seja, retirando o carregamento de apoios com mais intensidade de carga e transferindo as mesmas para outros apoios. Dessa forma observou-se que nos elementos de fundação 3, 5, 6 e 9 houve um decréscimo no carregamento, que foi compensado por um acréscimo de carregamento nos elementos de fundação 1, 2, 4, 7 e 8. As Figuras 3 e 4 mostram o comportamento do carregamento nos elementos de fundação 1 e 6 respectivamente, após sucessivas iterações.

Figura 3 – Evolução do carregamento ao longo das iterações no elemento de fundação 1

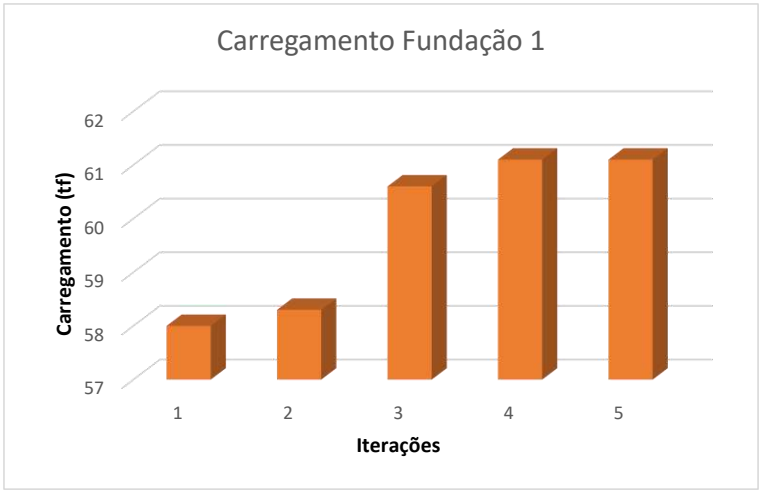
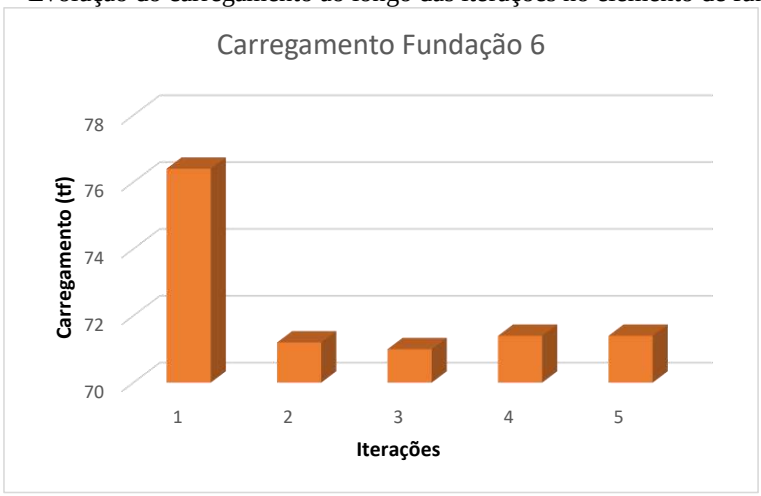



Figura 4 – Evolução do carregamento ao longo das iterações no elemento de fundação 6




### 4.2 Deslocamentos verticais

Os deslocamentos verticais, também chamados de recalque dos elementos de fundação e responsáveis por uma série de patologias em edificações também foram objeto de análise deste trabalho. Dessa forma foram avaliados também as alterações nos deslocamentos verticais após o processo iterativo com a consideração do ISE. Em um primeiro momento, como já relatado anteriormente, os apoios foram considerados indeslocáveis e ao longo do processo iterativo os apoios foram alterados para elásticos. Assim como na análise do carregamento observou-se que os elementos de fundação que tiveram aumento no carregamento consequentemente apresentaram maiores recalques, como é o caso do elemento de fundação 1 demonstrado na Figura 5. Da mesma forma o elemento de fundação 5 apresentado anteriormente, que apresentou carregamentos menores, também reduziu seus deslocamentos verticais conforme apresentado na Figura 6.

Figura 5 – Evolução do recalque ao longo das iterações no elemento de fundação 1

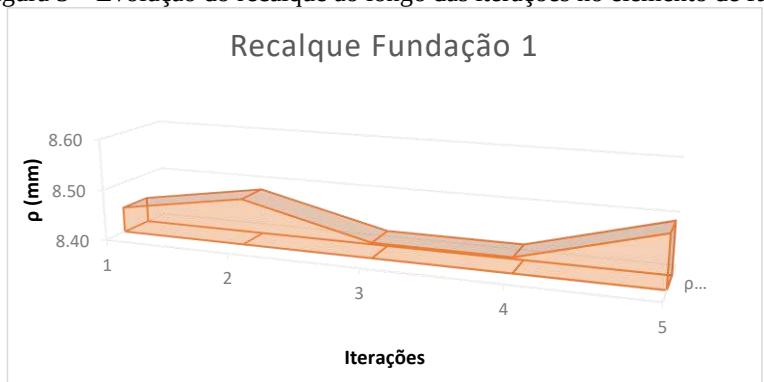
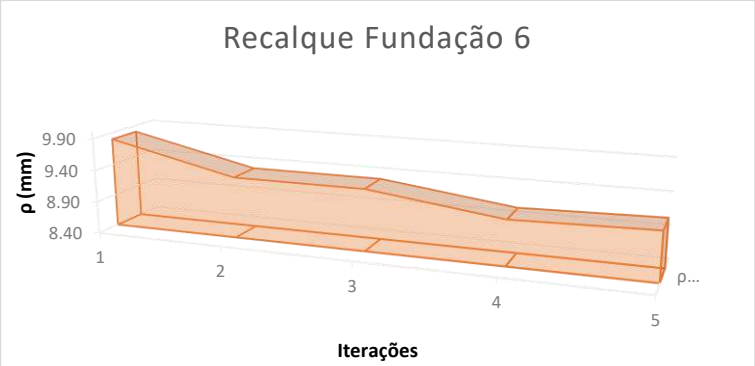


Figura 6 – Evolução do recalque ao longo das iterações no elemento de fundação 6




## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, a partir da consideração da ISE é possível observar uma grande tendência de reorganização do carregamento e consequentemente dos deslocamentos nos elementos de fundação. Isso implica diretamente no dimensionamento de elementos estruturais, interferindo nas quantidades de aço e concreto e consequentemente nos custos das edificações. Os resultados mostraram comportamentos que sem a consideração da ISE não seria possível de prever, além de este tipo de análise ser mais realista.

É importante ainda salientar que o software Eberick® não possui a ferramenta de consideração da interação solo-estrutura, porém a mesma permite que sejam adicionados os coeficientes de reação vertical e horizontal de modo personalizado em cada um dos elementos de fundação. Por se tratar de uma ferramenta com uma análise um tanto simplificada, a união deste software com planilhas elaboradas no Excel, permitiu a realização do processo iterativo da ISE, produzindo resultados satisfatórios e compatíveis com o que era esperado.

A ISE é uma ferramenta muito útil dentro da área da engenharia de estruturas e da engenharia de fundações, porém é uma metodologia pouco difundia dentre os profissionais da área devido a sua complexidade. Dentro deste contexto o presente trabalho procurou abordar a influência da consideração da ISE em elementos de fundação, de maneira a orinetar os profissionais da área sobre a importância desta análise, bem como a interação entre engenheiros estruturais e de fundações de modo a projetar com maior eficácia e segurança.

## 6. REFERÊNCIAS

Albiero, J.H. e Cintra, J.C.A., 1998. *Análise e Projeto de Fundações Profundas: Tubulões e Caixões.* In:Fundações: teoria e prática, HACHICH, W.C. et al. (editores), Editora Pini, São Paulo, 2a edição.

Almeida, A.P.R.P., Mendonça, D.V.C. e Brandão E.V., 2014. *Interação solo-estrutura e análise de redistribuição de cargas em pilares devido a recalques.* Universidade Federal de Goiás.

Alonso, U.R., 1991. *Previsão e controle das Fundações.* São Paulo, Edgard Blucher.

Alves R.S. e Hemetério J.C.R, 2008. *Interação solo- Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas.* Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá.

Antoniazzi, J.P., 2011. *Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais.* Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria.

Barata, F.E., 1986. *Recalques de Edifícios sobre Fundações Diretas em Terrenos de Compressibilidade Rápida e com a Consideração da Rigidez da Estrutura.* Escola de Engenharia da UFRJ. Rio de Janeiro.

Colares, G.M., 2006. *Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios.* Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

Ehlers, G., 1962. *2 Bände: Beton-Kalender. Taschenbuch für Beton- und Stahlbetonbau sowie die verwandten Fächer.* Teil I und II.

Gusmão Filho, J.A., 2002. *Fundações: do conhecimento geológico à prática da engenharia.* Recife: Editora Universitária – UFPE.

Iwamoto, R.K., 2000. *Alguns aspectos dos efeitos da interação solo - estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda.* Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Mendes, E.J., 2016. *Análise de Edifícios Considerando a Interação Solo-Estrutura.* Universidade Federal de Santa Catarina.

Moraes, M.C., 1976. *Estruturas de fundações*. São Paulo: McGraw-Hill.

Scarlat, A.S., 1993. *Effect of soil deformability on rigidity:related aspects of multistory buildings analysis.* ACI Struct. J., Detroit, v. 90, n. 2, p.156-162.

Shukla, S.N., 1984. *A simplified method for design of mats on elastic foundations.* ACI Struct. J., Detroit, v. 81, n. 5, p. 469-475.

Soares, J.M., 2004. *Estudo numérico-experimental da interação solo-estrutura em dois edifícios do Distrito Federal.* Universidade de Brasília. Brasil.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# SIMULAÇÃO DE PROBLEMAS ESTRUTURAIS COM OS PROGRAMAS VISUALFEA E MSBFEA

**Michel da Silveira**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim
michel.tchey@hotmail.com;

**Resumo:** *Este trabalho consiste em um estudo fundamentado e aplicado na teoria da elasticidade bidimensional (2D) com foco no Método dos Elementos Finitos (MEF) para solução numérica de problemas da engenharia através da análise de tensões e deformações em chapas. São apresentadas as equações que descrevem o comportamento dos elementos finitos Q4 (quadrilátero de 4 nós) e CST (triângulo de deformação constante), juntamente com a teoria que envolve os cálculos de tensões e deformações. Foi feito a implementação destas equações no MSBFEA (Maple System Based Finite Element Analysis - Análise por Elementos Finitos em um Sistema Baseado no Maple), gerando assim novos módulos de cálculos neste referido programa. Utilizou-se como base o programa de simulação VisualFEA, desenvolvido por professores de engenharia mecânica da Chumbok National University (Coreia do Sul). Foi realizada a primeira importação de malha automática do MSBFEA. Foram analisados três problemas teóricos, que envolvem os deslocamentos nodais, as tensões atuantes e o fator de concentração de tensão. Realizou-se as comparações entre três frentes, resultados analíticos e dos dois programas citados, verificando que houve concordância com a bibliografia e o programa base utilizado, comprovando que a estruturação realizada no MSBFEA está correta.*

**Palavras chave:** *Teoria da Elasticidade Bidimensional, Método dos Elementos Finitos, Problemas da Engenharia, Tensões e Deformações em Chapas.*

## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho faz-se o uso do Método dos Elementos Finitos (MEF), o qual consiste, em resumo, de uma simulação computacional onde a geometria que se quer analisar é subdividida em pequenas partes, conhecidas por elementos finitos, os quais representam o domínio contínuo do problema. Esta divisão permite resolver um problema complexo, transformando-o em um número de problemas mais simples, possibilitando assim que o computador obtenha uma solução satisfatória. Em linhas gerais, pode-se definir o MEF como um método matemático, no qual um meio contínuo é discretizado (subdividido) em elementos que mantém as propriedades de quem os originou. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados desejados (LOTTI *et al.*, 2006).

Segundo Gois e Piteri (2002), "duas características devem ser realçadas em relação ao MEF, ambas decorrentes do fato de ele utilizar uma abordagem numérica. A primeira característica intrínseca ao MEF é a necessidade de uma quantidade significativa de dados de entrada e de saída. A segunda característica está relacionada ao fato de que numa malha de elementos finitos a regularidade dos elementos afeta decisivamente o resultado final da solução obtida".

Atualmente existem diversos programas usados na resolução de problemas matemáticos. De acordo com Logan (2012), o MEF vem sendo a base para os principais programas de simulação numérica disponíveis no mercado. Existe um grande número de programas comercias de simulação, os quais estão em constante desenvolvimento, sempre buscando aprimorar-se, para que consigam abranger um leque maior de alternativa de problemas a serem solucionados, e facilitando a sua utilização pelo usuário. Alguns programas dispõem também de ferramentas didáticas para o uso disciplinar, possibilitando assim o entendimento prático do conceito por trás da estruturação da solução dos problemas.

A simulação computacional é amplamente usada no meio acadêmico e nas empresas hoje em dia, pelo fato de ser um meio mais rápido, seguro e muitas vezes com um custo bem menor de se chegar à um resultado satisfatório do problema a ser resolvido. Exemplos de problemas são o dimensionamento de estruturas treliçadas, análise de tensões atuantes em uma aeronave, entre outros. Os programas que realizam estes tipos de procedimentos utilizam o MEF, técnica usada para subdividir o problema em pequenas partes, fazendo uma aproximação da situação real, e por meio de equações matemáticas chegarem a uma resposta, o mais perto possível do real.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma poderosa ferramenta para solução de problemas nas áreas estruturais e não estruturais de engenharia, física e matemática, servindo como base de cálculo para diversos programas voltados a estas finalidades.

De acordo com Rodrigues (2010), "o MEF é uma ferramenta numérica que permite resolver Equações Diferenciais Parciais (EDP's). Através do MEF é possível obter aproximações seccionalmente polinomiais das soluções de problemas descritos por EDP's, sujeitos a determinadas condições iniciais e de fronteira".

Segundo Mirlisenna (2018), o MEF é a subdivisão da geometria que está exposta aos carregamentos e restrições em pequenas partes, denominados elementos finitos, os quais passam a representar o domínio contínuo do problema. O método propõe que o número de variáveis desconhecidas seja substituído por um número limitado de elementos de comportamento bem definido. Essas subdivisões podem apresentar diferentes formas, tais como triangular, quadrilateral, entre outras, em função do tipo e das dimensões do problema. Como são elementos de dimensões finitas, são chamados de elementos finitos, definição que nomeia o método.

Os elementos são conectados entre si por pontos, os quais são chamados de "nós" ou "pontos nodais", e este conjunto de conexões recebe o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria as equações matemáticas que regem o comportamento físico não são resolvidas de forma exata, mas sim por aproximação. A precisão do MEF depende da quantidade de nós e do número de elementos, do tamanho e do tipo de elemento da malha. Ou seja, quanto maior for o número de elementos e menor o seu tamanho, maior a precisão nos resultados (MIRLISENNA, 2018).

Para se alcançar um grau alto de precisão o modelo deve possuir um grande número de pequenos elementos finitos, sendo assim necessária a realização de cálculos gigantescos, fazendo-se obrigatório a utilização de um computador para manipular a grande quantidade de dados envolvida (KIKUCHI, 1986). Com os avanços tecnológicos e o desenvolvimento cada vez maior dos processadores, os quais tem o papel de realizar e agilizar os referidos cálculos, o desenvolvimento dos programas de simulação vem crescendo em conjunto. Aonde alcançou-se um nível em que é possível modelar, por exemplo, um Airbus por completo, e fazer a sua análise na integra, desde pequenas juntas até a sua carcaça por inteiro.

Outro ponto a se destacar do MEF é sua integração com os programas CAD (Computer-Aided Design – Desenho Assistido por Computador), facilitando assim o seu gerenciamento, podendo fazer uso de tais softwares para uma geração de malha mais refinada e precisa. Nas palavras de Macneal (1994), "a análise integrada aos programas de CAD está transformando o MEF em uma ferramenta onipresente, e seu uso será cada vez mais similar ao de um motor em um automóvel: todos poderão usá-lo apenas com um entendimento básico de seu funcionamento. Poucos dos usuários realmente precisarão entender o método para extrair dele um melhor desempenho e confiabilidade".

A escolha do programa VisualFEA como plataforma base para o desenvolvimento deste trabalho surgiu pela percepção de sua interface amigável e de uso intuitivo, não necessitando que se tenha um grande conhecimento na área de programas de cálculos para fazer o seu uso. Isto se provou no decorrer do estudo.

O VisualFEA é um programa inovador na área de análise por elementos finitos, tratando-se de uma técnica usada para resolver problemas físicos, tanto no campo da ciência como no da engenharia. As diferenças deste programa para os demais de mesma aplicação é que o mesmo tem a sua interface intuitiva e de uso simplificado. Outro ponto que se destaca, o gerenciamento é feito por um todo, do problema a ser resolvido, ou seja, o VisualFEA é um programa integrado, o seu procedimento de pré-processamento, processamento e pós-processamento é realizado em um único modo.

Podem ser realizadas análises estruturais, de condução de calor e de fluídos em separado ou em conjunto. O programa possui ferramentas de uso simples, para geração de malhas de análise estrutural, facilitando assim a formatação de modelos complexos. Seu pós-processamento tem funções úteis e de fácil compreensão. Os dados de análise de elementos finitos podem ser visualizados em várias formas: contorno, isosuperfície, vetor, animação e assim por diante. Seu campo educacional é de grande proveito, pois oferece uma área bastante interativa, desde a modelagem dos problemas passo a passo até a análise dos resultados obtidos, em forma de equações, animações, matrizes, etc.

O VisualFEA foi desenvolvido por professores de engenharia mecânica da Coreia do Sul, seus criadores foram Jae Young Lee, Hee Ryong Ryu e Young Taek Park. O programa está disponível na sua plataforma digital, em uma versão comercial sem limitação do número de nós, e em outra versão grátis com limitação de 1000 nós. Para o trabalho em questão foi utilizada a versão gratuita.

O Maple é um programa de Computação Algébrica e Simbólica (CAS) que combina um motor matemático com uma interface que o torna extremamente fácil para analisar, explorar, visualizar e resolver problemas matemáticos (MAPLESOFT, 2016). Seu desenvolvimento foi iniciado em 1981 pelo Grupo de Computação Simbólica da Universidade de Waterloo, no Canadá. Em 1988 o sistema foi comercialmente lançado (MATIAS e ALENCAR, 2012).

Esta plataforma em geral se torna intuitiva para a estruturação de programas como os destinados a cálculos de acordo com o Método dos Elementos Finitos (MEF), pois neste caso o usuário não precisa de grandes conhecimentos na área de programação, não sendo necessária a estruturação de algoritmos complexos ou técnicas avançadas de computação.

O sistema MSBFEA programa que está sendo desenvolvido pelo Prof. Dr. Tancredo Westphal Junior na Uri Campus Erechim usa como plataforma o Maple e é composto atualmente de quatro módulos, cada um com diferentes finalidades:

• MSBFEA-PRE: módulo pré-processador, onde basicamente se especifica as coordenadas dos nós, as conectividades dos elementos, as vinculações da estrutura e as cargas externas aplicadas, bem como os materiais e suas propriedades geométricas, gerando dois arquivos em formato texto com estas informações para posterior análise;

• MSBFEA-FEM: processador de elementos finitos, que calcula os deslocamentos e as forças nodais, através dos equacionamentos programados, gerando um arquivo em formato texto, com os valores calculados dos deslocamentos nodais generalizados e forças nodais generalizadas;

• MSBFEA-POS: utilizando os três arquivos gerados nos dois módulos anteriores, tem a função de apresentar graficamente a estrutura deformada e os gráficos referentes à mesma. Este módulo ainda não está completamente desenvolvido, sendo possível apenas plotar o gráfico dos deslocamentos nodais, futuramente devem ser desenvolvidos outros elementos gráficos para uma boa apresentação e visualização dos dados.

• MSBFEA-PDF: tem a função de gerar um relatório técnico em um arquivo no formato pdf, sendo este documento elaborado interativamente pelo operador do programa. Esse arquivo deve apresentar um relatório técnico contendo uma apresentação completa do projeto, com a descrição do elemento finito, gráficos e tabelas dos resultados.

## 3. METODOLOGIA

Os objetivos do presente trabalho são explanados em objetivo geral e objetivos específicos.

• Objetivo geral;

Fazer simulações de problemas da elasticidade bidimensional usando os elementos finitos Q4 (quadrilátero de 4 nós) e CST (triângulo de deformação constante) nos programas VisualFEA, que dispõe de geração automática de malha para estes elementos, e no MSBFEA, o qual contem geração automática de malha para elementos finitos todos de mesmo tamanho, o que não é adequado principalmente para problemas com concentração de tensões.

• Objetivos específicos;

- Importação automática de malhas geradas no VisualFEA para o MSBFEA;
- Implementação dos cálculos de deslocamento nodais;
- Implementação dos cálculos das tensões máximas (normais e cisalhantes) no MSBFEA;
- Comparação da solução dos problemas solucionados pelo VisualFEA com o MSBFEA e os valores encontrados analiticamente pela teoria.

A metodologia utilizada neste estudo consiste em resolver problemas com soluções disponíveis na literatura e comparar as mesmas com os valores dos programas VisualFEA, a fim de validar os módulos desenvolvido no MSBFEA. Em resumo foram calculados os deslocamentos nodais, as tensões máximas (normais e cisalhantes) e o fator de concentração de tensão nas geometrias expostas pelos exemplos.

Atualmente existem diversos programas usados na resolução de problemas matemáticos. Como já mencionado foram utilizados os programas de elementos finitos VisualFEA e MSBFEA. Este primeiro foi escolhido como plataforma base por possuir uma interface amigável e de uso intuitivo, não necessitando que se tenha um grande conhecimento na área de programas de cálculos para fazer o seu uso.

No segundo programa MSBFEA (Maple System Based Finite Element Analysis - Análise por Elementos Finitos em um Sistema Baseado no Maple) programa que está sendo desenvolvido pelo Prof. Dr. Tancredo Westphal Junior na Uri Campus Erechim, foram implementados novos módulos de cálculos de elementos finitos, comparando os resultados com o programa base.

A estruturação matemática do estudo fez uso das equações que regem a teoria da elasticidade bidimensional linear elástica, a estruturação dos elementos finitos Q4 (quadrilátero de 4 nós) e CST (triângulo de deformação constante), e a fundamentação para a análise dos deslocamentos nodais, das tensões e do fator de concentração de tensão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma das limitações da plataforma MSBFEA (Maple System Based Finite Element Analysis - Análise por Elementos Finitos em um Sistema Baseado no Maple) é sua geração automática de malha, muito restrita para propósitos gerais, dispondo somente de geração de malha para geometrias retangulares; para formas irregulares deve ser usado o modo manual, no qual devem ser introduzidas manualmente as coordenadas dos nós e as conectividades dos elementos, sendo um processo muito moroso, cansativo, sujeito a erros e absolutamente impraticável para malhas com muitos elementos. Após a discretização de uma peça no programa VisualFEA, estão disponíveis os dados referentes a ela em formato texto. Foi elaborado um programa para a leitura destes dados, capturando as coordenadas dos nós e as conectividades dos elementos, a fim de gravar estas informações em um arquivo no formato texto que pode ser interpretado pelos módulos de análise e pós-processamento, MSBFEA-FEM e MSBFEA-POS.

Como o VisualFEA tem diversos tipos de malhas geradas automaticamente de forma intuitiva e rápida, esses dados podem ser transpostos em arquivo texto, e estes arquivos podem ser lidos e interpretados de forma prática pelo MSBFEA-PRE. Usa-se, portanto, o programa VisualFEA como uma plataforma para geração de malhas no MSBFEA.

Após a finalização da estruturação do problema no VisualFEA e salvos os dados da malha em um arquivo texto, no MSBFEA-PRE, foi adicionada uma extensão, a qual lê e interpreta a estrutura dos dados gerados, e faz assim a discretização da peça por completa, com todas as coordenadas dos nós, conectividades dos elementos da malha, vinculações e cargas aplicadas. A Fig. 1 representa uma chapa com todos os seus componentes e especificações gerado no VisualFEA E MSBFEA.

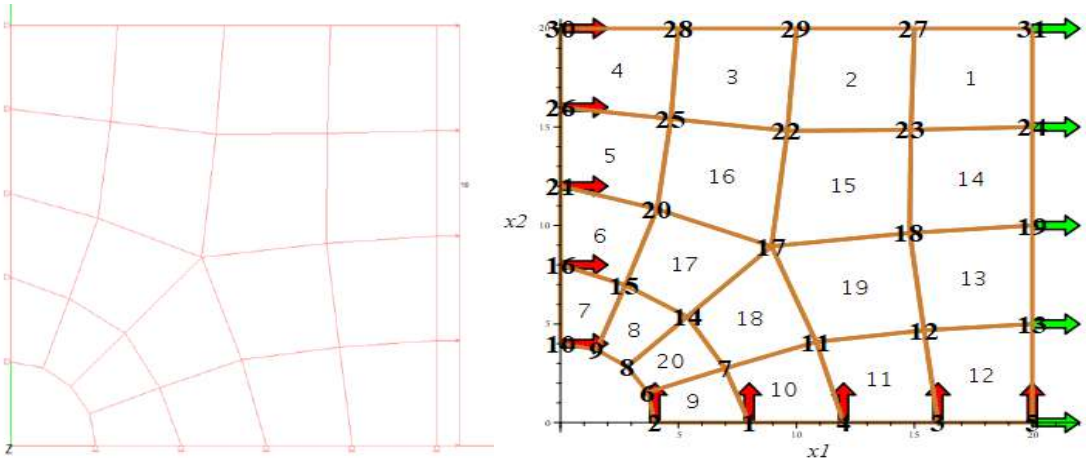



Figura 1 – (a) Discretização chapa VisualFEA, (b) Malha de elementos finitos importada do VisualFEA para o MSBFEA.

Na Fig. 1 (b) as flechas em vermelho representam os apoios da peça, as flechas em verde representam as cargas aplicadas, sendo mostrado também o número de cada nó e a numeração dos elementos. Fazendo a comparação com a Fig. 1 (a) nota-se que a malha, as condições de vinculação e a distribuição das cargas são iguais às geradas no VisualFEA, comprovando assim que a programação realizada para importação destes dados para o MSBFEA é correta, habilitando o seu uso para esta finalidade.

Após realizado a implementação da importação dos dados referentes a geração automática de malha no MSBFEA através do VisualFEA, pode-se expandir para a estruturação dos novos modos de cálculos. Pois se tinha como auxilio uma ferramenta eficaz na configuração de diversos problemas resolvidos por elementos finitos, onde se usa malha de elementos finitos

Na sequência serão expostos resultados de problemas resolvidos segundo a metodologia de comparação de valores encontrados analiticamente e com os dos programas VisualFEA e MSBFEA. Não será detalhado o passo a passo da estrutura criada no MSBFEA para estas finalidades.

O primeiro experimento realizado foi a avaliação da deformação da linha central de uma viga plana, proposta pelo livro de Dym e Shames (2013). Este exemplo foi escolhido para ser resolvido pelo elemento finito Q4 (quadrilátero de 4 nós), para comprovar a estruturação do referido elemento no MSBFEA, comparando os resultados encontrados nos dois programas usados juntamente com o valor analítico. A Fig. 2 mostra a peça a ser analisada.

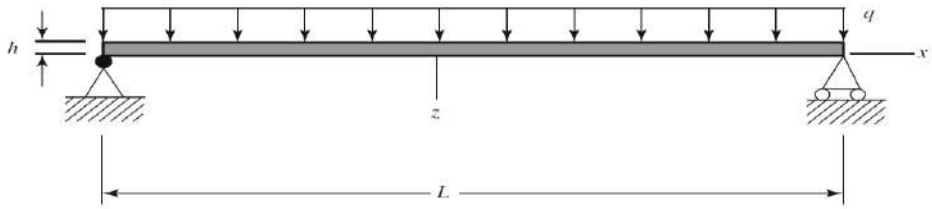



Figura 2 - Viga.

Dados para o problema:

- $t\ (espessura) = 0{,}001\ m$
- $h\ (altura) = 5\ m$
- $L\ (comprimento) = 100\ m$
- $q\ (carga) = 1\ N$
- $E\ (módulo\ de\ elasticidade) = 200x10^{9}\ Pa$
- $v\ (coeficiente\ de\ Poisson) = 0{,}32$

O problema proposto por Dym e Shames (2013), requer que seja mostrado que a deflexão da linha central é dada por:

$$w(x,0) = \frac{qL^4}{24EI}\left[\frac{5}{16} - \frac{3}{2}\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{x}{L}\right)^4\right] + \frac{qL^4}{24EI}\left(\frac{h}{L}\right)^2\left[\left(\frac{12}{5} - \frac{3v}{2}\right)\left(\frac{1}{4}\right) - \left(\frac{x}{L}\right)^2\right].$$

Após resolvido o problema analiticamente, foi realizado a discretização da peça e suas condições de apoios e cargas no VisualFEA, gerando assim um arquivo em texto com estes dados. O qual foi lido automaticamente pelo MSBFEA, podendo assim resolver o problema em ambos os programas. A Tabela. 1 apresenta os resultados encontrados nas três frentes.

Tabela 1 – Comparativo de valores analíticos do VisualFEA e do MSBFEA para o problema da deflexão da viga.

| **Resultados** | **Deflexão Máxima ($m$)** |
|---|---|
| Analítico | $6{,}271x10^{-7}$ |
| VisualFEA | $6{,}226x10^{-7}$ |
| MSBFEA | $6{,}225x10^{-7}$ |

Nota-se que a maior deflexão encontrada pelo VisualFEA é $w = 6{,}226x10^{-7}\ metros$, e do MSBFEA é $w = 6{,}225x10^{-7}\ metros$ ,os quais tem uma diferença entre $1x10^{-9}$ e $2x10^{-9}$ do valor encontrado analiticamente. Mostrando assim que o uso do elemento finito Q4 e a importação de malha automática do VisualFEA para o MSBFEA, está em concordância com as duas fontes analisadas.

O próximo problema foi escolhido para mostrar a implementação do elemento finito CST (Triângulo de Deformação Constante) e a análise de deslocamento e tensões em chapa, novos módulos configurados no MSBFEA.

O exercício proposto por Kamsah (2012) exemplo 8-1 pergunta em tradução livre: *"considere uma placa fina com espessura de t = 0,5 polegadas sendo modelada usando dois Elementos CST, como mostrado. Assumindo a condição de Estado Plano de Deformação, (a) determine os deslocamentos dos nós 1 e 2, e (b) estimar as tensões nos dois elementos".*

A Fig. 3 representa a geometria da placa, o elemento finito utilizado e suas condições.

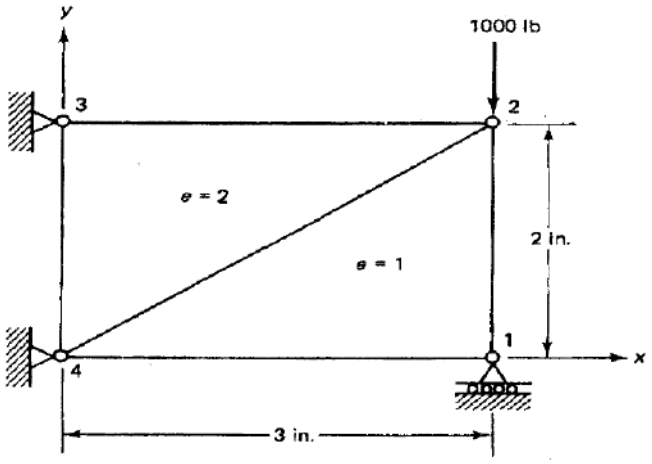



Figura 3 - Chapa fina - Kamsah.

Dados para o problema:

- $t\ (espessura) = 0{,}5\ in$
- $E\ (módulo\ de\ elasticidade) = 30x10^6\ psi$
- $v\ (coeficiente\ de\ Poisson) = 0{,}25$

Após o entendimento do exercício, passou-se então a discretizar o mesmo no VisualFEA. Seguindo sempre as mesmas condições juntamente com o sistema de unidades imposto pelo problema. Não será detalhado o procedimento para a configuração da peça e atribuição de suas condições no programa citado. A Fig. 4 e Fig. 5 representam a geometria e suas condições no VisualFEA e MSBFEA respectivamente.

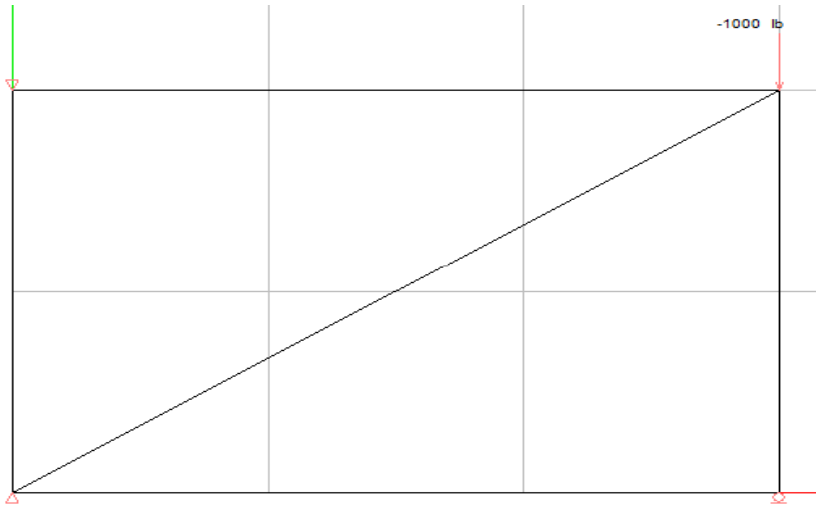



Figura 4 - Chapa fina - VisualFEA.

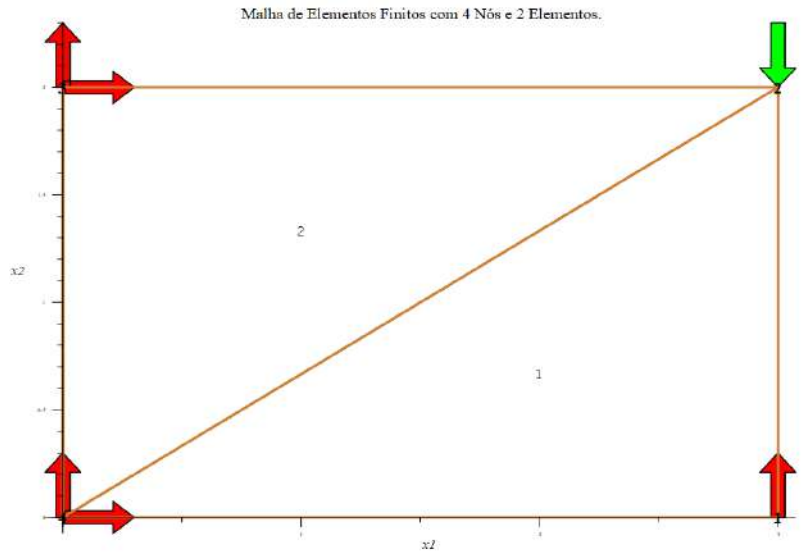



Figura 5 - Chapa fina - MSBFEA.

Um ponto a se destacar conforme as três figuras anteriores representam, é sobre os graus de liberdades nos referidos pontos:

Ponto 1 – Deslocamento no eixo X;

Ponto 2 – Deslocamento nos eixos X e Y;

Ponto 3 e 4 – Não existe grau de liberdade, por estarem totalmente engastados;

Como consequência, os valores apresentados a seguir só serão para estes pontos e seus eixos que existem graus de liberdades.

Foram estabelecidos os valores encontrados por Kamsah (2012), como valores de referência. A Tabela faz o compilado dos resultados encontrados para o Elemento 1 deste primeiro problema. Facilitando assim a avaliação dos dados e apresentando a distorção entre eles.

Tabela 2 - Resultados dos deslocamentos - problema placa fina.

| **Elemento 1** | **Kamsah** $(in)$ | **VisualFEA**$(in)$ | **MSBFEA**$(in)$ | **Erro Kamsah x VisualFEA [%]** | **Erro Kamsah x MSBFEA [%]** |
|---|---|---|---|---|---|
| Deslocamento X Nó 1 | $1{,}913x10^{-5}$ | $1{,}908x10^{-5}$ | $1{,}907x10^{-5}$ | $-0{,}261$ | $-0{,}314$ |
| Deslocamento X Nó 2 | $0{,}875x10^{-5}$ | $0{,}874x10^{-5}$ | $0{,}873x10^{-5}$ | $-0{,}114$ | $-0{,}229$ |
| Deslocamento Y Nó 2 | $-7{,}436x10^{-5}$ | $-7{,}415x10^{-5}$ | $-7{,}415x10^{-5}$ | $-0{,}282$ | $-0{,}282$ |

O erro 1 foi calculado em relação aos resultados encontrados por Kamsah (2012) e o programa VisualFEA, e o erro 2 foi calculado em relação a Kamsah (2012) e o MSBFEA.

Na Tabela 3 são mostrados os valores encontrados para as tensões atuantes nos dois elementos. Foram estabelecidos da mesma maneira os valores encontrados por Kamsah (2012), como valores de referência.

Seguindo a mesma lógica anterior, o erro 1 foi calculado em relação aos resultados encontrados por Kamsah (2012) e o programa VisualFEA, e o erro 2 foi calculado em relação a Kamsah (2012) e o MSBFEA.

Tabela 3 - Resultados das tensões - problema placa fina.

| **Elemento 1 e 2** | **Kamsah** $(\frac{lb}{in^2})$ | **VisualFEA**$(\frac{lb}{in^2})$ | **MSBFEA**$(\frac{lb}{in^2})$ | **Erro Kamsah x VisualFEA [%]** | **Erro Kamsah x MSBFEA [%]** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tensão em X do Elemento 1 | $-93{,}3$ | $-93{,}12$ | $-93{,}12$ | $-0{,}193$ | $-0{,}193$ |
| Tensão X do Elemento 2 | $93{,}4$ | $93{,}12$ | $93{,}12$ | $-0{,}3$ | $-0{,}3$ |
| Tensão Y do Elemento 1 | $-1138{,}7$ | $-1136{,}0$ | $-1135{,}5$ | $-0{,}237$ | $-0{,}281$ |
| Tensão Y do Elemento 2 | $23{,}4$ | $23{,}28$ | $23{,}28$ | $-0{,}513$ | $-0{,}513$ |
| Tensão Cisalhante do Elemento 1 | $-62{,}3$ | $-62{,}08$ | $-62{,}08$ | $-0{,}353$ | $-0{,}353$ |
| Tensão Cisalhante do Elemento 2 | $-297{,}4$ | $-296{,}6$ | $-296{,}6$ | $-0{,}269$ | $-0{,}269$ |

Através das duas tabelas expostas anteriormente foi possível verificar que os resultados se aproximam muito dos valores encontrados por Kamsah (2012), com o maior erro percentual encontrado de $-0{,}513$. Comprovando assim que a estruturação realizada no MSBFEA, para o elemento finito tipo CST e o cálculo do valor das tensões nos dois eixos e a de cisalhamento, está na mesma ordem de valores da teoria.

## 5. CONCLUSÕES

Na primeira etapa deste trabalho não se tinha nenhum conhecimento sobre o programa VisualFEA. Assim, a parte inicial foi dedicada para a integração com a interface do mesmo, realizando alguns procedimentos básicos, como modelagem de peças com geometrias simples, atribuições de propriedades de material, geração de pequenas malhas, entre outras situações. Foi obtida assim familiarização com o programa e algumas de suas ferramentas, que fazem parte do estudo.

Na segunda etapa foi realizada a modelagem de algumas peças e obtidas as malhas dos elementos finitos destas através do VisualFEA. Foi descoberto como obter os arquivos de dados referentes aos problemas estruturados, neste referido programa. Então utilizou-se o programa de elementos finitos, desenvolvido na URI-Erechim, o MSBFEA (Maple System Based Finite Element Analysis - Análise por Elementos Finitos em um Sistema Baseado no Maple) para fazer a comparação das matrizes de rigidez geradas pelos dois programas. As discretizações iniciais dos problemas no MSBFEA foram realizadas de forma manual, onde se informava as coordenadas e as conectividades de cada elemento finito, um por um, tornando-se um processo moroso e propenso a erros. Assim, visualizou-se um dos objetivos do trabalho, que é a

configuração de um módulo automático do MSBFEA, o qual consiga ler os dados referentes à peça e a malha dos problemas construídos no VisualFEA, tornando assim a sua geração automática.

Após observado o primeiro objetivo do trabalho, sendo este a geração automática de malha no MSBFEA, usando o VisaulFEA para a geração inicial, observou-se também os demais pontos do trabalho. Sendo estes os objetivos gerais e específicos.

Sendo um dos objetivos a utilização do VisualFEA para a geração automática de malha e fazer a migração dos dados referentes a esta para a plataforma MSBFEA. Este item foi alcançado com sucesso, como mostrado no Capítulo 4, onde se apresenta a malha importada pelo MSBFEA, a qual é idêntica à discretizada no VisualFEA. Assim, foi realizada a primeira importação de malha automática no MSBFEA, abrindo um leque de opções para a utilização do mesmo, sanando uma das deficiências existentes, que é a geração de malhas para elementos finitos com geometria não retangular.

Foram também implementados novos módulos no MSBFEA, para os cálculos das deformações, tensões e do fator de concentração de tensão em chapas finas. Foram realizados problemas teóricos e prático, que buscam os resultados dos cálculos citados. Fazendo a comparação entre as três frentes usadas, resultados analíticos, do VisualFEA e do MSBFEA.

Através destas comparações verificou-se que os resultados encontrados no MSBFEA variam muito pouco dos outros calculados. Podendo comprovar assim que a importação da malha automática entre o VisualFEA e o MSBFEA e os novos módulos estruturados neste segundo programa estão corretos. Tornando assim o MSBFEA uma plataforma de uso fácil e amigável para estes devidos fins.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

DYM, C L; SHAMES, I. H. Solid Mechanics. Nova York: McGraw-Hill, 2013.

GOIS, J.P.; PITERI, M.A. Geração automática de malhas de elementos finitos e a estrutura de dados winged-edge modificada. Presidente Prudente: SBMAC, 2002.

KAMSAH, N. Two-dimensional problems using CST elements. SME 3033 FINITE ELEMENT METHOD,2012.

KIKUCHI, N. Finite element methods in mechanics. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.

LOGAN, D.L. A first course in the finite element method, 5ª Edição. Stanford: Cengage Learning, 2012.

LOTTI, R.S; MACHADO, A.W; MAZZIERIO, Ê.T; LANDRE, J.J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. Revista dental press de ortodontia e ortopedia facial, v.11, n.2, p. 35-43, 2006.

MACNEAL, R.H. Finite elements: their design and performance. Marcel Dekker, Inc, New York, USA. 1994. p. 531.

MAPLESOFT. Help. Maplesoft. 2016. Home page < http://www.maplesoft.com/support/help> Acesso em 23 jun 2018.

MATIAS, S.M; ALENCAR, L.B.S. Curso básico de Maple 13. (Apostila). Universidade Federal do Ceará, 2012.

MIRLISENNA, G. Método dos Elementos Finitos: O que é?. Engineering simulation and scientific software Ltda. Home page < https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/> Acesso em: 28 nov. 2018.

RODRIGUES, J.D. Desenvolvimento do método de elementos finitos móveis para simulação de processos. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química e Biológica) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, FEUP, 2010.

VISUALFEA; User's Manual. 2011 Intuition software. Home page < http://www.visualfea.com/onlinemanual.htm > Acesso em: 22 set. 2018.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# FILTROS DIGITAIS APLICADOS NO PROCESSAMENTO DE SINAIS DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS

**Wéslen Giacomini Zanella**
**Fábio Goedel**
Universidade de Passo Fundo - UPF, BR 285, s/n, Bairro São José, Passo Fundo - RS
weslenzanella95@gmail.com, goedel@upf.br

***Resumo:*** *Vibrações mecânicas estão presentes em todas as estruturas, sendo assim, saber a intensidade e frequências dessas vibrações torna-se imprescindível no desenvolvimento de projetos de estruturas com comportamento dinâmico para que sejam bem dimensionadas, não falhem e possuam uma vida em fadiga adequada. A medição das vibrações existentes em máquinas, equipamentos e estruturas em geral é essencial para evitar falhas, realização de manutenção preditiva e também utilizada como dados de entrada em cálculos estruturais. Após a realização de medições de vibrações em geral, torna-se necessário o processamento dos sinais obtidos, este processamento consiste na realização da Transformada de Fourier, que transforma o sinal medido no domínio do tempo em domínio da frequência, bem como a utilização de filtros digitais, necessários para separar os sinais sinusoidais superpostos em suas componentes harmônicas. No presente artigo, sinais obtidos de um experimento com um edifício de 4 andares com dimensões reduzidas, serviram de exemplo para a aplicação de filtros digitais, que podem ser aplicados a qualquer sinal.*

***Palavras chave:*** *Dinâmica estrutural, Análise Modal, Vibração Livre, Vibração Forçada, Instrumentação.*

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo fazer uma síntese sobre a utilização de filtros digitais para processamento de sinais de vibrações mecânicas. Normalmente na aquisição de dados em campo, o sinal de aceleração no domínio do tempo, por exemplo, é adquirido com altas taxas de amostragem, deste modo, sinais de todas as frequências abaixo desta taxa são captados. Dependendo do objetivo das medições, deve-se ter uma noção de quais frequências de vibração está se buscando. Com base em um bom planejamento experimental deve-se definir objetivos e parâmetros para os ensaios, além de avaliar possíveis causas de ruídos indesejados durante as medições. Os sinais de vibrações no domínio do tempo antes de qualquer tratamento são sinais com diversas frequências sobrepostas, cada uma destas frequências tem um comportamento sinusoidal.

O presente artigo utiliza como exemplo de aplicação de filtros, os sinais obtidos por Zanella (2019) nas medições de vibração da estrutura de um edifício de 4 andares com dimensões reduzidas. Os tipos de vibrações estudados são do tipo livres amortecidas e vibrações forçadas.

### 1.1 Medições de Vibração

O movimento ou força dinâmica de um corpo vibratório é convertido em um sinal elétrico por um transdutor ou sensor de vibração. Transdutor é um dispositivo que transforma quantidades mecânicas em quantidades elétricas, visto que o sinal elétrico de saída de um transdutor é muito pequeno para ser registrado diretamente, um instrumento de conversão de sinal é utilizado para amplificar o sinal. (RAO, 2018)

Na escolha de um sensor para medir vibração, Balbinot e Brusamarello (2010) citam alguns aspectos que devem ser considerados: a faixa de frequência e amplitude, o tamanho e a massa da estrutura, as condições de operação e o tipo de análise dos dados.

Dentre os tipos de transdutores, existe o transdutor piezelétrico, que tem seu princípio de funcionamento baseado no efeito piezelétrico, onde certos materiais são capazes de gerar cargas elétricas quando submetidos a uma tensão ou deformação mecânica. Um transdutor piezelétrico típico é o acelerômetro. (RAO, 2018)

Durante o processo de aquisição de dados, a máxima frequência que pode ser captada pelos equipamentos, também chamada de frequência de Nyquist, é exatamente a metade da frequência de amostragem. (SHENOI, 2006)

### 1.1.1 Acelerômetros

O acelerômetro é um equipamento que mede a aceleração de um corpo vibratório, e é amplamente utilizado para medir as frequências de vibração. Seu princípio de funcionamento está de acordo com a segunda lei de Newton, sendo que a variação de força captada pelo acelerômetro é proveniente da aceleração de sua massa interna. Rao (2018) afirma também que pelo registro de um acelerômetro é possível obter as velocidades e deslocamentos por integração.

A representação de um acelerômetro piezelétrico é mostrada na Fig. 1, onde uma pequena massa é pressionada contra um cristal piezelétrico através de uma mola. Quando a base vibra, a carga exercida pela massa sobre o cristal muda com a aceleração. Com isso, a tensão de saída gerada pelo cristal será proporcional à aceleração. (RAO, 2018)

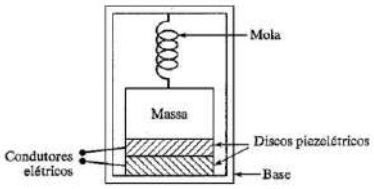



Figura 1. Esquema de um Acelerômetro Piezelétrico

Os sinais obtidos na maioria das análises experimentais são gerados através de gráficos da amplitude de resposta no domínio do tempo. A análise no domínio do tempo usa o histórico de tempo do sinal em forma de onda. O sinal é armazenado, e pode ser observado em tempo real quaisquer impulsos não estáveis ou transitórios. (RAO, 2018)

Informações importantes como a transformação do sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência, e o fator de amortecimento, podem ser determinadas através do processamento dos sinais obtidos. Para isso, é necessária a aplicação de alguns métodos para análise.

### 1.1.2 Transformada Rápida de Fourier

Com a Transformada Rápida de Fourier (FFT) o sinal pode ser visto no domínio da frequência, ou espectro de frequência, que é uma representação gráfica da amplitude de resposta de vibração em função da frequência. (RAO, 2018). Um sinal no domínio do tempo pode ser decomposto em infinitas componentes harmônicas. A Fig. 2 ilustra a correlação entre tempo e frequência.

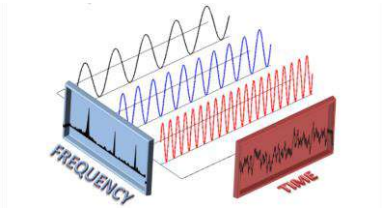



Figura 2. Correlação entre o sinal no domínio do tempo e da frequência

A FFT transforma o sinal do domínio do tempo em domínio da frequência. Sendo possível observar graficamente em quais frequências a estrutura vibra. A Equação (1) é adaptada de Savi e Paula (2017) e representa a FFT. A resposta da FFT é composta por uma parcela de números reais e imaginários, de amplitude e fase.

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i.\omega.t}.x(t).dt \tag{1}$$

## 1.2 Filtros Digitais

Sabendo-se as frequências que se quer analisar, é possível separar o sinal. Isso é possível decompondo o sinal no tempo em suas componentes harmônicas com a aplicação de filtros, isolando o sinal de cada modo de vibrar da estrutura em um gráfico no domínio do tempo. Os filtros são descritos por equações, e quanto mais alta for a ordem das equações mais próximo da resposta ideal ele estará. Os filtros digitais de alta ordem utilizam maior número de operações, o que demanda maior capacidade de processamento. (DINIZ *et al.* ,2014)

### 1.2.1 Filtro Passa Baixa

Os filtros Passa Baixa, ou mais conhecidos como *Low Pass,* passam apenas os sinais com frequências inferiores à frequência determinada na aplicação do filtro, a Fig. 3 ilustra esse tipo de filtro.

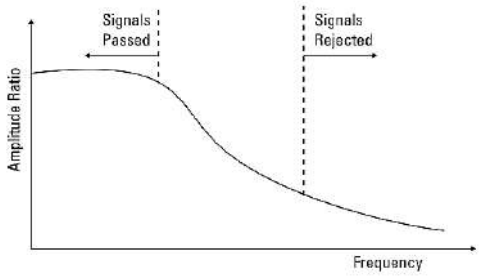



Figura 3. Filtro Passa Baixa

1.2.2 Filtro Passa Banda ou Passa Faixa

Também conhecidos como *Band Pass*, passam apenas os sinais com frequências que estiverem dentro da faixa pré-determinada na aplicação do filtro, rejeitando todos os sinais fora da faixa escolhida, ilustrado pela Fig. 4.

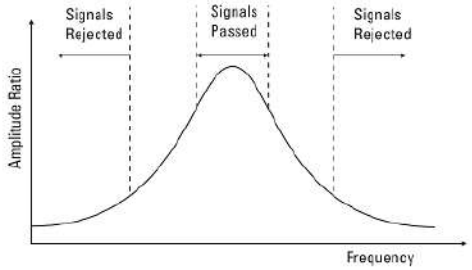



Figura 4. Filtro Passa Banda

1.2.3 Filtro Passa Alta

O filtro Passa Alta, também chamado de *High Pass*, passa apenas os sinais com frequências acima do ponto de frequência determinado na aplicação do filtro ao sinal, é ilustrado pela Fig. 5.

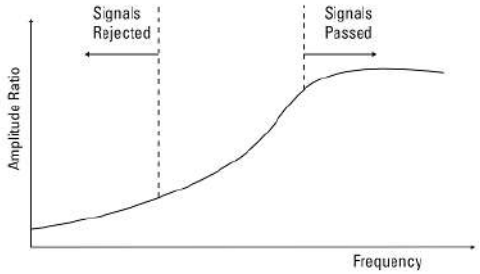



Figura 5. Filtro Passa Alta

## 2. METODOLOGIA

A presente seção visa descrever a metodologia para medições experimentais de vibrações mecânicas, bem como a aplicação de filtros digitais no processamento de sinais obtidos em medições de vibrações mecânicas em geral.

### 2.1 Procedimento Experimental

Esta etapa consiste em se obter um planejamento de todo o aparato experimental a ser utilizado para medições de vibração mecânica. Determinar quais são as grandezas que se quer obter é de fundamental importância antes de realizar qualquer medida. A Fig. 6 ilustra os aspectos básicos do esquema de medição de vibrações e acelerações.

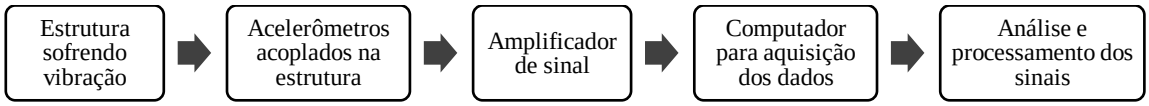



Figura 6. Fluxograma Experimental

- **Estrutura sofrendo vibração:** Estrutura para análise de vibrações.
- **Acelerômetros acoplados:** acoplar os acelerômetros onde se quer medir a aceleração e frequências para posterior análise. Acelerômetro da marca *Silicon Designs*, modelo 2466-010, possui detecção de aceleração nos 3 eixos, alcance de até ±10 g, sensibilidade de 400 mV/g;
- **Amplificador de sinal:** Equipamento que recebe as informações do acelerômetro na forma de grandeza elétrica, e converte o sinal para a leitura em uma grandeza mecânica. Modelo: HBM MGC Plus de 24 bits, e HBM Quantum X de 24 bits.
- **Computador:** Aquisição dos dados através do *software* Catman®Easy.
- **Análise e processamento dos sinais:** Estudo dos sinais obtidos nas medições. Os dados são tratados de forma que cumpra com os objetivos das medições.

Para a realização dos experimentos, deve-se seguir um cronograma organizacional, que consiste em quatro etapas distintas: planejamento, preparação, execução e análise dos dados. Através do detalhamento completo das duas primeiras etapas (planejamento e preparação) é possível realizar as medições e analisar os resultados. Esse detalhamento é feito para os dois ensaios que foram realizados, sendo a análise modal e a análise harmônica experimental.

### 2.1.1 Análise Modal Experimental

A análise modal experimental permite medir as frequências naturais das estruturas e verificar quais frequências possuem maior amplificação dinâmica.

- Planejamento:

**Objetivo:** O objetivo da análise modal experimental é medir e determinar as frequências naturais da estrutura.
**Parâmetros do ensaio:** Taxa de aquisição de dados de 2400 Hz, valor determinado por Zanella (2019) para obtenção de mais pontos de medição, facilitando a determinação do fator de amortecimento estrutural através do método da Meia Potencia e método do Decremento Logarítmico. (CLOUGH e PENZIEN, 2003)
**Imprecisão e ruído:** Deve ser minimizado, fixando a estrutura à uma base firme e rígida, que no caso, é uma bancada de testes, construída com uma chapa de aço de 1" de espessura.

- Preparação:

Consiste na instrumentação dos acelerômetros na estrutura objeto de estudo, bem como a calibração destes, a conexão dos amplificadores ao computador e a verificação dos sinais antes da realização da medição. No software Catman®Easy deve ser montado um painel de medições para que os dados medidos possam ser vistos em tempo real durante os ensaios. Esse painel deve conter gráficos no domínio do tempo e espectro de frequências. A Fig. 7 mostra as medições da vibração livre.

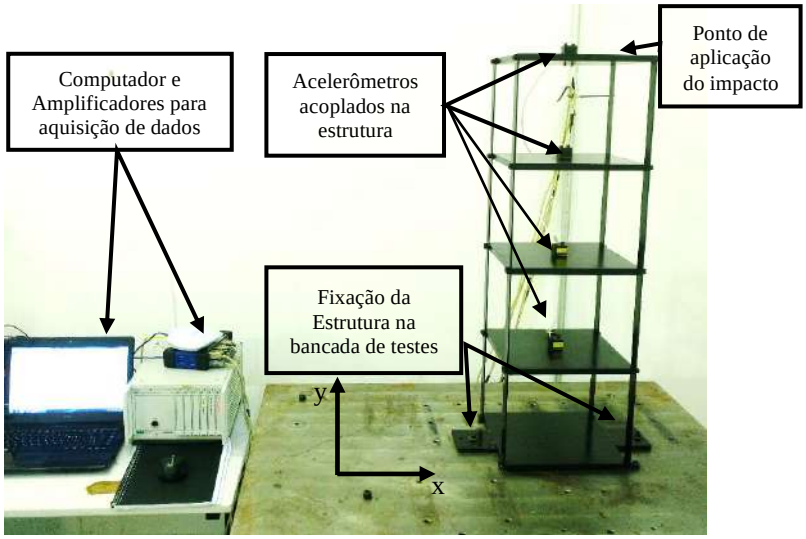



Figura 7. Aparato Experimental para realização da Análise Modal Experimental

- Execução:

Executar as medições conforme programado, observando em tempo real os sinais obtidos através do painel da Fig. 8, montado no *software* Catman®Easy para se ter certeza de que está sendo medida a grandeza certa. O painel contém gráficos em tempo real da aceleração no domínio do tempo, bem como um gráfico da FFT, sendo no domínio da frequência, identificando as frequências que geram maior amplitude de resposta. A execução dessa medição consiste em

aplicar um impacto na estrutura utilizando um martelo, para que os sensores façam a leitura completa desse movimento, que é um movimento livre amortecido.

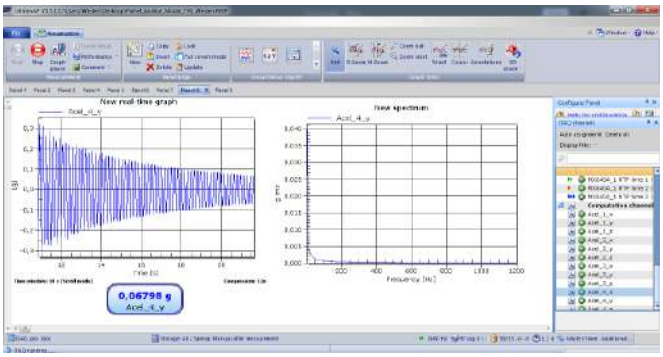


Figura 8. Painel de medições da vibração livre em tempo real no software Catman®Easy

- Análise dos Dados:

Após as medições da vibração livre amortecida, deve-se tratar o sinal no domínio do tempo, gerando um gráfico do movimento livre amortecido desenvolvido pela estrutura após o impacto inicial até a extinção da vibração. A partir desse gráfico, pode ser feita a Transformada Rápida de Fourier (FFT), onde é gerado um gráfico da aceleração no domínio da frequência, mostrando os picos de aceleração para determinadas frequências. Essas frequências são as frequências naturais da estrutura associada a cada modo de vibrar.

Sabendo-se as frequências naturais da estrutura, é possível separar o sinal de cada modo de vibrar. Isso é possível decompondo o sinal no tempo em suas componentes harmônicas com a aplicação de filtros de característica *Butterworth Band-Pass* (Passa-Banda ou Passa-Faixa) de quarta ordem, isolando o sinal de cada modo de vibrar da estrutura em um gráfico no domínio do tempo. (SHENOI, 2006)

### 2.1.2 Análise da vibração forçada

- Planejamento:

**Objetivo:** Medir a resposta dinâmica da estrutura a um carregamento dinâmico senoidal aplicado por uma Mesa Vibratória.
**Parâmetros do ensaio:** Taxa de aquisição de dados de 600 Hz.
**Imprecisão e ruído:** Deve ser minimizado, fixando a estrutura à mesa vibratória, e a mesa vibratória fixada à uma base firme e rígida, que no caso, é uma bancada de testes, construída com uma chapa de aço de 1" de espessura.
**Mesa Vibratória:** Provoca um movimento oscilatório linear de amplitude 7,9 mm, e opera em uma faixa de frequência entre 2 e 15 Hz.

- Preparação:

A preparação para as medições de vibração forçada é semelhante à descrita na Análise Modal Experimental. A Fig. 9 mostra a estrutura montada sobre a mesa vibratória, onde é possível observar os acelerômetros acoplados na estrutura.

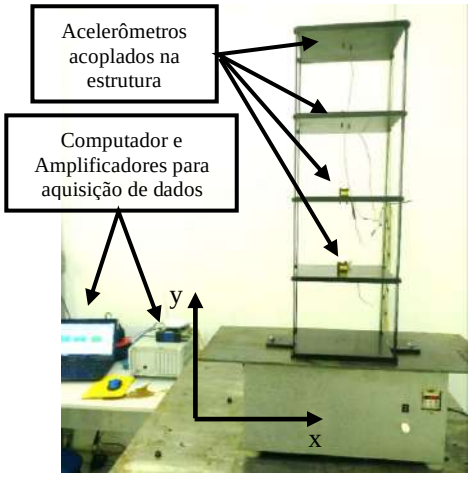



Figura 9. Aparato Experimental para a realização das medições de vibração forçada

- Execução:

A execução do ensaio de vibração forçada consiste em ligar a Mesa Vibratória em uma frequência pré-determinada, e então iniciar as medições no *software* Catman®Easy. Realizar as medições por aproximadamente 30 segundos, para que se tenham dados suficientes para realizar análises posteriormente. A frequência de excitação foi um valor intermediário entre as frequências naturais do primeiro e segundo modo de vibrar da estrutura, determinados na Análise Modal experimental.

- Análise dos Dados:

Após as medições da vibração forçada imposta pela mesa vibratória deve-se verificar qual foi a frequência de excitação da mesa e então aplicar um Filtro com a característica *Butterworth Band-Pass*, de quarta ordem, para isolar apenas o sinal da resposta dinâmica da estrutura, eliminando outras frequências que possam estar sobrepostas ao sinal original, como, por exemplo, a vibração do motor da mesa e do seu ventilador. (SHENOI, 2006)

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Aplicação de Filtros em Vibrações Livres – Análise Modal

As medições de vibração livre têm por objetivo a realização da análise modal experimental, e revelam em um gráfico da aceleração no domínio do tempo o efeito do amortecimento presente na estrutura. Como pode ser visto na Fig. 10, o sinal de aceleração atinge um valor máximo logo após o impacto, a estrutura vibra em várias das suas frequências naturais, e então o efeito de amortecimento faz com que a estrutura reduza sua amplitude de movimento até a extinção do sinal.

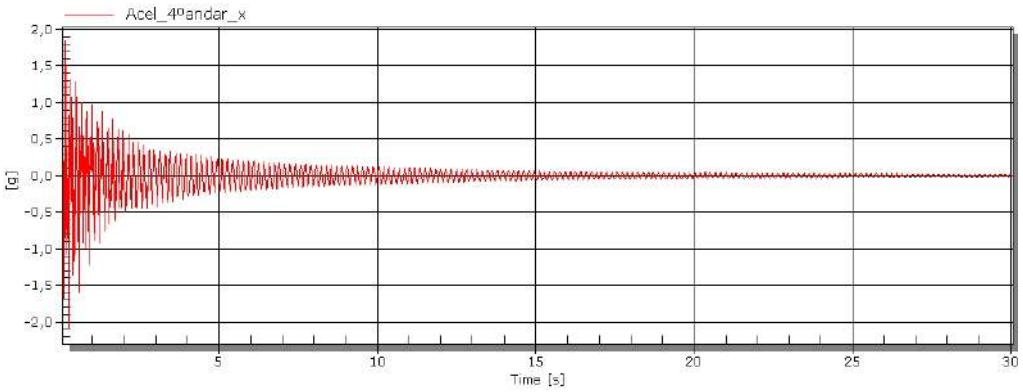



Figura 10. Sinal original da vibração livre amortecida

As estruturas vibram em diversas frequências simultaneamente, desta forma, a superposição modal está presente em todas as vibrações. A Fig. 11 mostra o sinal da vibração livre em uma escala mais aproximada, onde é possível perceber a superposição de senoides, onde cada senoide representa uma frequência natural.

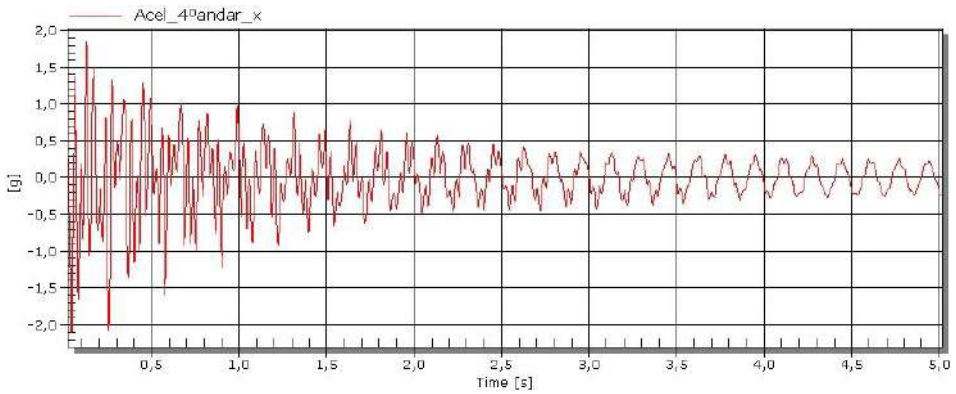



Figura 11. Sinal original da vibração livre amortecida

Utilizando o sinal da Fig. 10 e Fig. 11 foi possível obter a Transformada Rápida de Fourier (FFT), transformando o sinal da aceleração no domínio do tempo em um gráfico da aceleração em um espectro de frequências, como visto na Fig. 12. Um sinal no domínio do tempo pode ser decomposto em infinitas componentes harmônicas através deste método. A FFT revela quais as frequências possuem maior amplificação independente da intensidade do impacto inicial. Através

dela é possível visualizar graficamente quais são as frequências naturais da estrutura. As frequências naturais obtidas experimentalmente são apresentadas na Tab. 1.

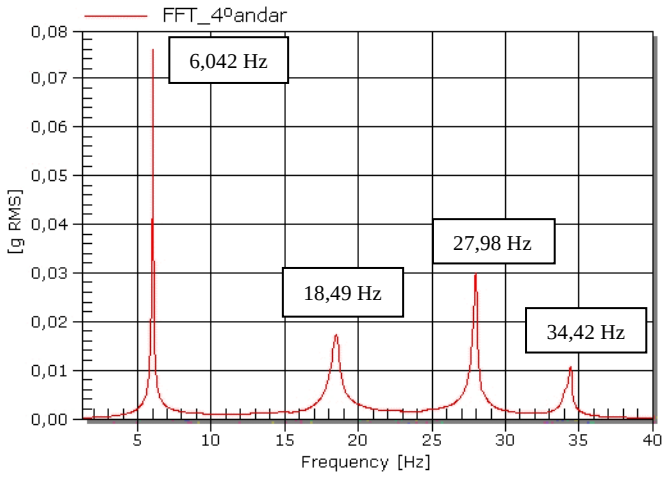



Figura 12. Espectro de Frequências obtidos pela FFT

Com os valores das frequências naturais encontradas experimentalmente, é necessária a utilização de filtros para separar o sinal de cada um dos modos de vibrar, a fim de visualizar o decaimento de cada um dos modos de vibrar. O filtro com característica *Butterworth Band-Pass* (Passa-Banda ou Passa-Faixa) utiliza um limite inferior e um limite superior de frequência, ou seja, uma faixa de frequência, a qual todos os sinais que estiverem fora desta determinada faixa serão suprimidos, mostrando apenas o sinal dentro da faixa desejada, onde, neste caso, é o filtro ideal a ser utilizado por se tratar de um sinal com várias frequências. A Tab. 1, indica a frequência de cada modo de vibrar com a faixa de frequência utilizada para o filtro aplicado ao sinal original.

Tabela 1. Frequências naturais e filtros aplicados a cada modo de vibrar

| **Modo de Vibrar** | **Frequência Natural $f_n$** | **Filtro *Butterworth Band-Pass*** | |
|---|---|---|---|
| | | Corte inferior | Corte superior |
| **1º** | 6,042 Hz | 5 Hz | 7 Hz |
| **2º** | 18,49 Hz | 17 Hz | 20 Hz |
| **3º** | 27,98 Hz | 26 Hz | 30 Hz |
| **4º** | 34,42 Hz | 33 Hz | 36 Hz |

Os sinais de cada um dos modos de vibrar, filtrados conforme a indicação da Tab. 1 são apresentados da Fig. 13 a Fig. 16, onde é possível perceber que cada um dos modos extingue sua vibração em tempos diferentes, isso se dá pela energia associada a cada um, e também pela diferença entre seus fatores de amortecimento. As Fig. 13 a 16 são apresentadas de forma que se possa ver o sinal como um todo, e também uma imagem aproximada, onde é possível ver a qualidade da senoide de cada sinal.

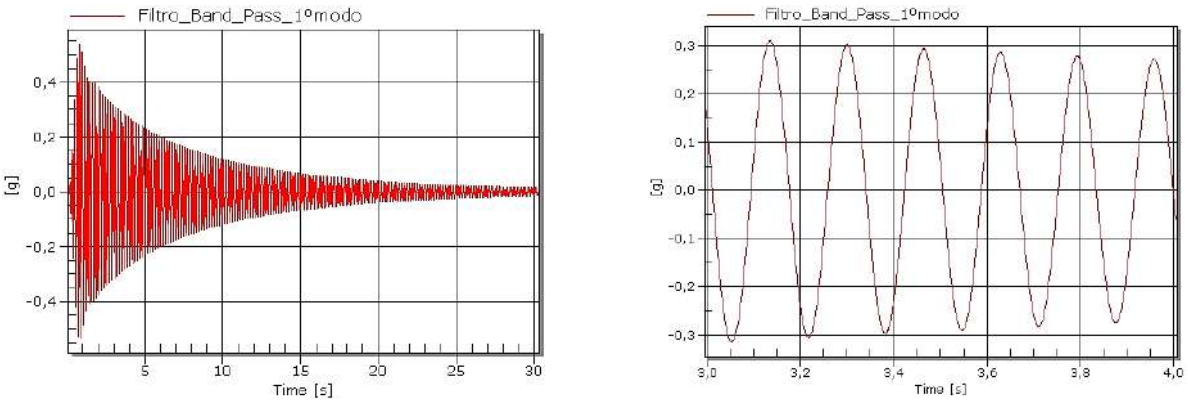



Figura 13. Sinal Filtrado para o 1º Modo de Vibrar

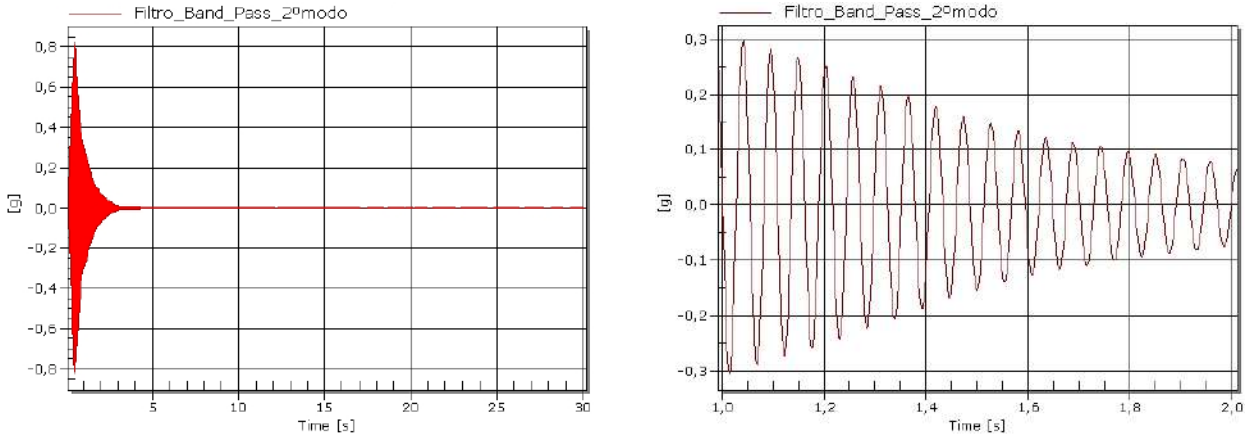



Figura 14. Sinal Filtrado para o 2º Modo de Vibrar

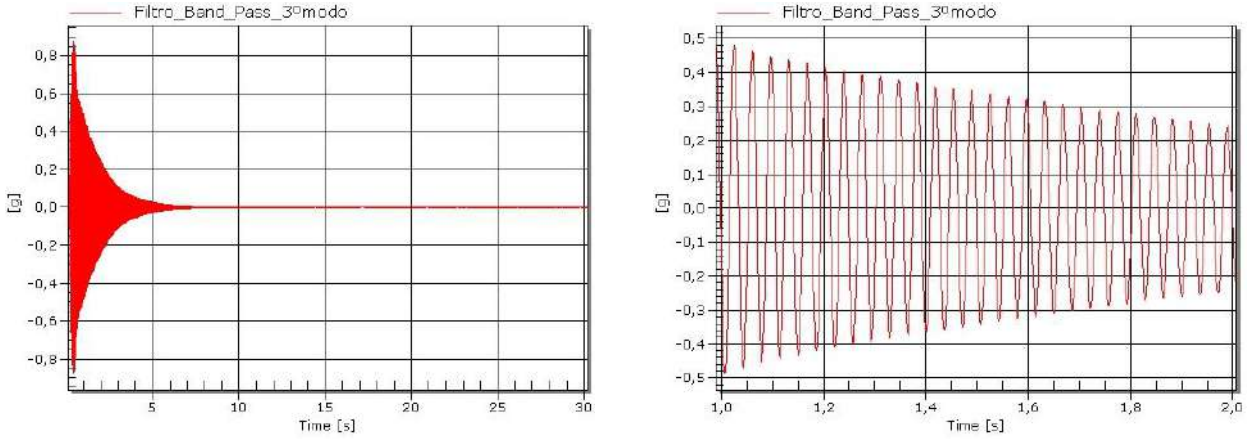



Figura. 15. Sinal Filtrado para o 3º Modo de Vibrar

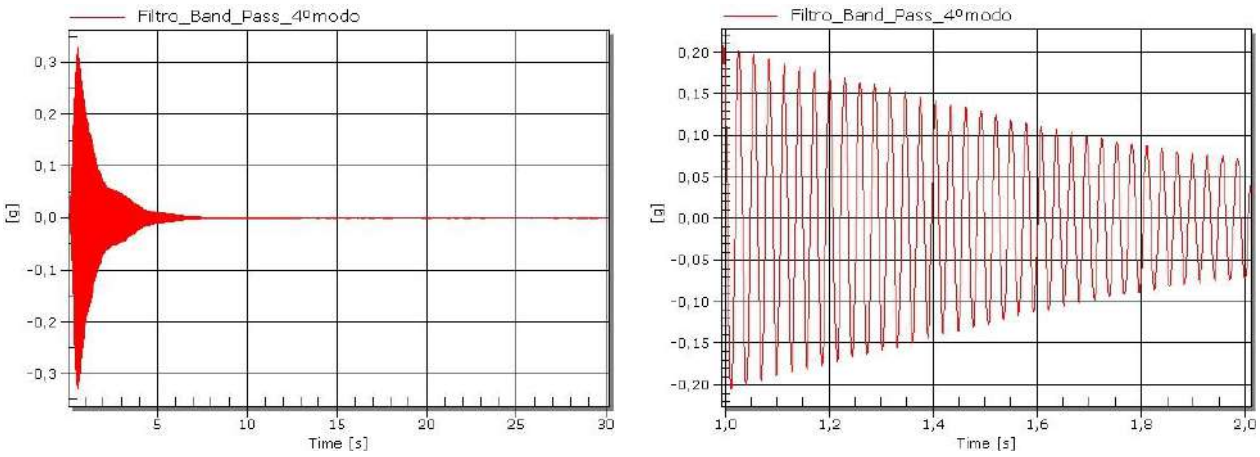



Figura 16. Sinal Filtrado para o 4º Modo de Vibrar

Observando os sinais filtrados da Figura 13Fig. 13 até a Fig. 16 pode-se perceber que os filtros são capazes de separar o sinal de cada frequência existente em um sinal superposto por várias frequências.

### 3.2 Aplicação de Filtros em Vibrações Forçadas

A aplicação de filtros digitais independe do tipo de vibração presente nas estruturas, nesta seção é apresentado o processamento dos sinais obtidos em uma vibração forçada. A Fig. 17 mostra o sinal original obtido nas medições de vibração forçada ao edifício imposto pela mesa vibratória.

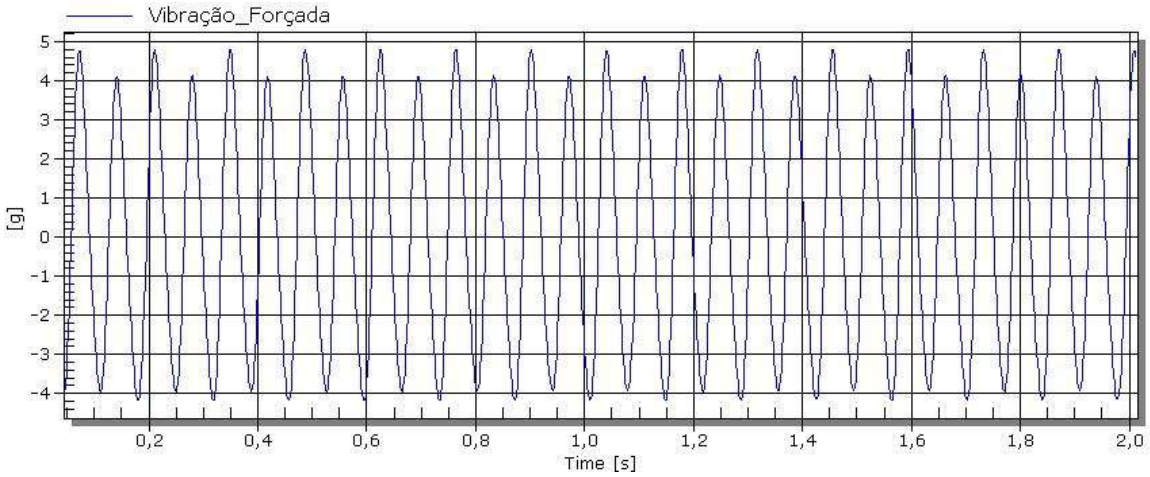



Figura 17. Sinal original da vibração forçada

Com o sinal original medido, é possível a realização da FFT e obtenção do espectro de frequências mostrado na Fig.18. A frequência de excitação da mesa vibratória foi de 14,39 Hz, outras frequências aparentes no espectro da Fig. 18 são frequências oriundas de vibrações que não fazem parte da análise principal, e por isso precisam ser eliminados através de filtros, com isso, a faixa de aplicação do filtro *Band Pass* é de 12 a 17 Hz. Desta forma, apenas o sinal com a frequência imposta pela mesa vibratória será passado pelo filtro.

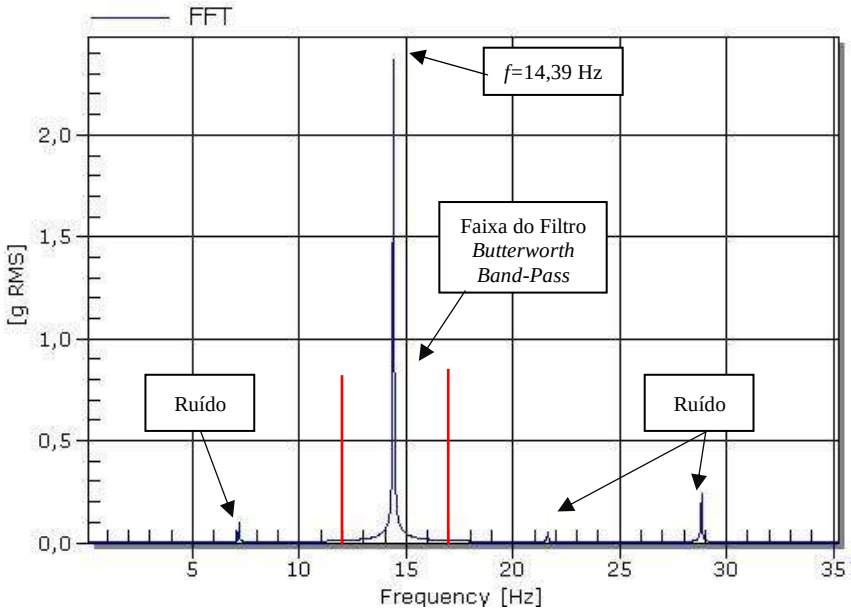



Figura 18. Espectro da frequência de excitação e faixa do filtro utilizado

Após a aplicação do filtro, obtêm-se somente o sinal de vibração imposto pela mesa vibratória na frequência de 14,39 Hz, e pode ser visto na Fig.19.

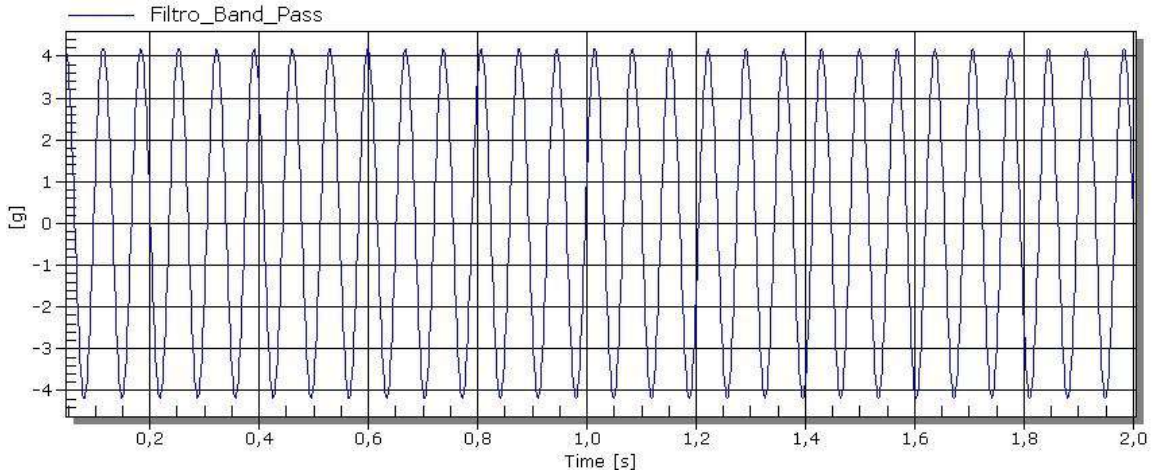



Figura 19. Sinal Filtrado para a frequencia de 14,39 Hz

Percebe-se a qualidade do filtro aplicado observando a qualidade da senoide obtida.

## 4. CONCLUSÕES

- A aplicação de filtros digitais é um método muito eficiente para análise dos sinais de vibrações;
- Os filtros digitais são facilmente aplicados, testados e implementados em um computador;
- Os filtros são essenciais para a eliminação de ruídos existentes nos sinais;
- Os filtros são amplamente utilizados para separar os sinais de várias frequências, possibilitando descobrir a intensidade de cada uma;
- Após tratados, os dados podem ser utilizados como dados de entrada em cálculos estruturais.

## 5. REFERÊNCIAS

Balbinot, A.; Brusamarello, V.. Instrumentação e Fundamentos de Medidas. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2010.

Clough, R. W.; Penzien, J. Dynamics of Structures. Third Edition. ed. Berkeley: Computers & Structures, Inc, 2003.

Diniz, P. S. R.; Silva, E. A. B. D.; Netto, S. L. Processamento digital de Sinais: Projeto e análise de Sistemas. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

Rao, S. S. Mechanical Vibrations. Sixth Edition. ed. Miami: Pearson Education Limited, 2018.

Savi, M. A.; Paula, A. S. D. Vibrações Mecânicas. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

Shenoi, B. A. Introduction to Digital Signal Processing and Filter Desing. New Jersey: Wiley-Interscience, 2006.

Zanella, W. G. Avaliação numérica e experimental da estrutura de um edifício de 4 andares com dimensões reduzidas submetido a carregamento dinâmico senoidal. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, p. 35. 2019.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento a empresa Implementos Agrícolas JAN S/A pela doação dos materiais utilizados para a construção da estrutura. Agradecimento ao CETEC/UPF e ao Prof. Dr. Zacarias Chamberlain pelo empréstimo da Mesa Vibratória utilizada para a realização dos ensaios.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Civil:

# Projetos de Instalações Civis

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Rodrigo Gazolla Ferrarese**
URI Câmpus de Erechim. Endereço: RS 331, nº 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS
E-mail rodrigo_ferrarese@hotmail.com

**Roberta Gazolla Ferrarese**
URI Câmpus de Erechim. Endereço: RS 331, nº 345, CEP: 99700-000, Erechim-RS
E-mail robertaferrarese@hotmail.com

***Resumo:*** *Atualmente, o mercado da construção civil é caracterizado pelo forte uso do concreto armado em estruturas portantes e fundações. De forma geral, este mercado é bastante competitivo e há um forte apelo pela redução dos custos, de maneira que as estruturas e fundações possuam margem de segurança de menor valor, menores dimensões, projetos são mais simplificados e, erroneamente, não acompanhamento técnico com profissionais qualificados em muitas obras. Com isso, aumenta-se a possibilidade de execuções inadequadas com ausência de manutenção pós-entrega e gerando um aumento nas chances de ocorrências de manifestações patológicas. O grande problema que aflige a área responsável pelo reforço e recuperação de peças de concreto armado é a ausência de normas, as quais vêm sendo desenvolvidas devido à alta demanda e aos estudos existentes na área. Infelizmente, a falta de informação e de divulgação dos processos já estudados, faz com que se reitere a presença de um comércio falho de reparos errôneos das estruturas. Diante dessa situação, o presente artigo se propõe a estudar, de forma concisa, a relação entre as patologias e as possibilidades de retomada das condições originais de uso.*

***Palavras chave:*** *Patologias, Construção Civil, Reforço, Recuperação.*

***Abstract:***. *Currently, the construction market is characterized by the strong use of reinforced concrete in supporting structures and foundations. In general, this market is very competitive and there is a strong call for cost reduction, so that structures and foundations have lower safety margins, smaller dimensions, projects are simplified and, erroneously, no technical follow-up with professionals. skilled in many works. This increases the possibility of improper executions with no maintenance after delivery and increasing the chances of pathological manifestations occurring. The major problem facing the area responsible for reinforcement and recovery of reinforced concrete parts is the absence of standards, which are being developed due to the high demand and existing studies in the area. Unfortunately, the lack of information and dissemination of the processes already studied makes the presence of a faulty trade of erroneous repairs of structures reiterated. Given this situation, the present article proposes to study, concisely, the relationship between the pathologies and the possibilities of resuming the original conditions of us.*

***Key words:*** *Pathologies, Civil Construction, Reinforcement, Recovery.*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o cenário da construção civil é bastante competitivo e caracterizado pelo forte apelo por redução de custos de tal forma que as estruturas projetadas passem a ser mais econômicas, esbeltas e com menores margens de segurança. Além disso, apesar do papel do engenheiro civil ser essencial para a verificação e acompanhamento das obras, sabe-se que, muitas vezes, esses serviços são realizados por pessoas sem essa especialização. Essa situação ocorre de forma comumente nas obras de menor porte. Pode-se observar também que os prazos reduzidos e o emprego de mão de obra pouco qualificada gera edificações de qualidade reduzida com danificação antecipada e problemas de diversas naturezas.

Com isso, há a ocorrência de diversas manifestações patológicas nas estruturas de concretos, sejam elas as estruturas portantes ou as fundações dos edifícios, trazendo malefícios e, em diversas ocasiões, acarretando a perda de parte ou de toda a edificação. O concreto armado, embora não seja a única solução de sistema construtivo, é a técnica mais utilizada para a construção de estruturas de edificações e fundações. O emprego desta solução surgiu a partir da mescla entre a capacidade de resistência à compressão do concreto e resistência à tração do aço, resultando em um material versátil que pode ser utilizado em toda construção civil, cujas possibilidades podem ser ampliadas com o uso do concreto armado protendido, por exemplo (CARMONA, 2000).

Para lidar com essa situação, existem diversos profissionais responsáveis pelo estudo das patologias das estruturas de concreto, ramo da engenharia civil que se encontra em desenvolvimento pleno e constante. A área citada tem como intuito aprimorar os estudos acerca das causas, consequências, formas de manifestação, mecanismos de aparecimento de falhas e de malefícios nos edifícios, além do desenvolvimento dos métodos de recuperação e reforços nos estruturas de concreto armado já danificadas.

> A patologia na construção pode ser entendida como a ciência médica: o ramo da engenharia que estuda os sintomas, formas de manifestação, origens e causas das doenças ou dos efeitos que ocorrem nas edificações (CARMONA, 2000).

A recuperação e implantação de reforços nas estruturas de concreto armado possui como principal intuito estabelecer novamente as condições originais das estruturas já danificadas a partir da recuperação, bem como promover adequações físicas para aumentar a capacidade de resistência de acordo com sua demanda de uso a partir dos reforços (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

De acordo com PIANCASTELLI (1997), a estimativa de custos com recuperação e reparos de obras no Brasil chega a US$ 100.000.000.000,00, enquanto nos Estados Unidos chega a US$ 102.000.000.000,00, representando cerca de 4% do PIB do país. Apesar do montante despendido com recuperação e reparo de estruturas, sabe-se que o valor a ser gasto com a demolição e construção de uma nova seria demasiadamente maior, além de ser uma alternativa que se desencontra das questões ambientais tão alarmantes nos dias atuais.

Assim, baseado na ampla importância do concreto armado no contexto brasileiro, o artigo se mostra relevante em demasia, possibilitando a compreensão dos métodos de recuperação e reforço em estruturas de concreto armado. Dessa forma, conforme apontamento de Takeuti (2003), haverá uma revisão crítica e técnica dos mais recentes e comuns métodos utilizados para reforçar e recuperar as estruturas de concretos. Além disso, será levantada as questões atreladas ao monitoramento e à manutenção preventiva de forma a responder positivamente aos principais requisitos de durabilidade e qualidade. Tais pontos são os cernes para a segurança e para que a edificação consigo responder às suas demandas durante sua vida útil de projeto, reduzindo a possibilidade de ocorrência de patologias e a necessidade de reformas e intervenções de custos altos de recuperação e de reforço.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO TEMA

### 2.1 Processos de degradação do concreto

As manifestações patológicas possuem características bastantes peculiares de forma que a partir de simples externalização de sua ocorrência já é possível saber quais serão as suas consequências. Dessa forma, há a possibilidade de redução do processo destrutivo na etapa inicial deste de maneira que os malefícios causados e o custo com recuperação ou implantação de reforços sejam menores. Para isso, é necessário que, além da qualificação dos profissionais envolvidos para que haja percepção prévia, é necessário o apoio no projeto detalhado da edificação existente de forma que as decisões sejam tomadas com maior margem de segurança (HELENE, 1992).

De acordo com Helene (1992), os sintomas encontrados comumente nas estruturas com patologias são as listadas abaixo:

- Fissuras: espécie de rachadura aparente de pequeno calibre decorrente das tensões desequilibradas presentes nos materiais componentes do concreto.
- Eflorescências: depósito esbranquiçado e cristalino gerado por excesso de carreamento de solução composta por água e sal.
- Flechas excessivas: gerada por aumento de demanda fora do projeto original - sobrecarga - ou por redução da capacidade de resistência do concreto e/ ou da armadura gerando danos para estrutura.

- Corrosão de armaduras: causada por reação química ou eletroquímica que ocorre em meio aquoso e gera interação destrutiva entre o ambiental e o metal.
- Ninhos de concretagem: separação dos materiais componentes do concreto.

O termo desempenho é usado para denotar o comportamento de cada componente da edificação ao longo de sua vida útil, sendo que caso o desempenho esteja abaixo do previsto não quer dizer que as peças avaliadas devam ser colocadas em desuso. Significa apenas que estas devem ser recuperadas ou reforçadas para que haja reabilitação e, assim, consigam responder de forma plena e satisfatória às demandas.

Atualmente, o concreto é um material de amplo uso dentro da construção civil por conta de diversos fatores, como o baixo custo e abundância no mercado de seus componentes principais - cimento, agregados e água, baixo custo de produção, baixo custo de manutenção, alta resistência e alta capacidade de moldagem. Ao longo dos anos e com o passar dos estudos e experimentações práticas acerca do concreto, notaram-se dois pontos cruciais a serem cuidados: a necessidade de redução do tempo de demora para se erguer uma edificação e de manutenção o desempenho do concreto armado, ou seja, de sua durabilidade MEHTA (2007).

Entende-se por durabilidade a capacidade de manutenção das propriedades originárias de um material, sendo este exposto ao tempo e um determinado ambiente. Este fator é responsável pela determinação da Vida Útil de Projeto (VUP), sendo que para as estruturas de concreto este valor deve ser, no mínimo de 50 anos (ABNT NBR 15575). De acordo com Calixto (1997), a durabilidade do concreto se mantém a partir de quatro pontos a serem atentados no concreto: cobrimento, composição, compactação e cura, formando, assim, o conceito dos "4 C's".

Conforme a Figura 1 abaixo, evidencia-se a relação de três situações distintas em decorrência de patologias de diversas naturezas. A linha tracejada, situação 1, se refere ao desgaste natural que ocorre ao longo do tempo na estrutura e, devido a resiliência desta, consegue retornar ao desempenho inicialmente exigido para o seu uso. Já a linha cheia, situação 2, se refere à estrutura submetida a uma situação subitamente, como, por exemplo, um acidente em que há uma intervenção subsequente e, assim, consegue voltar ao desempenho inicial. E o caso de linha traço ponto, situação 3, em que a estrutura possuía defeitos e erros de projeto e de execução ou que tenha sofrido alguma alteração funcional abrupta e, assim, necessita de reforço estrutural desde o início de seu período útil.

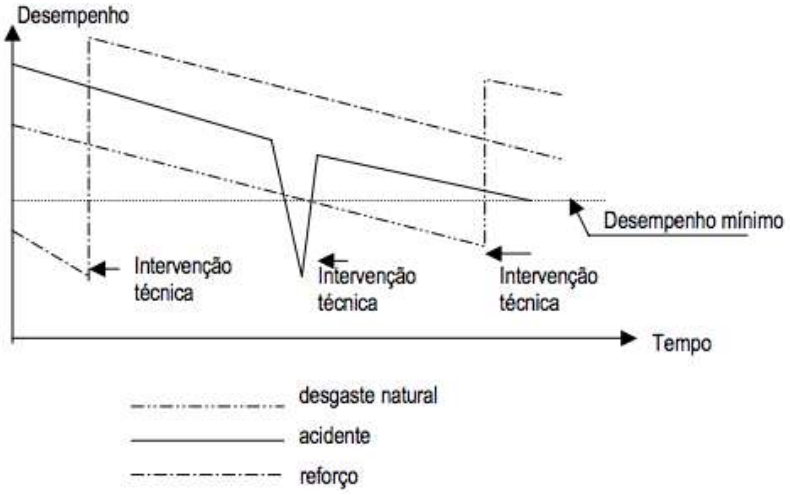



Figura 1. Desempenhos de estruturas de concreto armado ao longo do tempo e de acordo com os fenômenos patológicos (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

A partir da análise da figura acima foi possível notar que para a conquista de desempenho adequado, a estrutura de concreto armado precisa, inicialmente, corresponder às expectativa de condições básicas de segurança - Estados Limites Último (ELU) e Estados Limites de Utilização (ELU). Assim, haverá a contemplação da resistência, da rigidez, da estabilidade, dentre outros fatores de suma importância.

MEHTA (1997) ao realizar sua abordagem global a respeito do tema caracteriza os efeitos ambientais sobre o concreto armado, considera-se os seguintes pontos:

- Atuação do concreto como um todo e não a partir da análise de componentes isolados;
- Grau máximo de saturação, fazendo com que a água possua caráter dominante na solução;
- Causas da degradação: ataque de sulfatos, corrosão no aço dos estribos e armaduras, principalmente, reação dos alcalinos sobre os agregados.

## 2.2 Processos de degradação do concreto armado mais comuns

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (1994), as consequências da degradação ocorrem de duas formas: efeito físico e efeito químico. O primeiro se refere aos malefícios externos, como fissuras e desgastes superficiais, gerados pela pressão feita de dentro para fora da peça em decorrência da cristalização dos sair no interior dos poros. Isso ocorre devido à exposição a amplitudes abruptas de temperaturas, como o congelamento e o incêndio, sendo a segunda situação mais comum no Brasil. Já o segundo efeito faz referência à lixiviação do cimento como consequência do contato com o meio ácido, ataques de sulfatos gerando expansões e corrosão do aço. Na Tabela 1 são evidenciados quais mecanismos, agentes propulsores, ações de amenização do problema e sintomas presentes para as patologias mais comumente em estruturas e fundações de concreto armado.

Tabela 1. Patologias no concreto armado e suas características (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

| MECANISMO | AGENTES | AÇÃO | SINTOMATOLOGIA |
|---|---|---|---|
| 1. Lixiviação | Águas puras, carbônicas agressivas e ácidas | Carrear compostos hidratados da pasta de cimento | - Superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial;- Eflorescên-cia de carbonato; - Elevada retenção de fuligem / fungos |
| 2. Expansão | Águas e solos contaminados por sulfatos | Reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado | - Superfície com fissuras aleatórias e esfoliação<br>- Redução da dureza e do pH |
| 3. Expansão | Agregados reativos | Reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos | - Expansão geral da massa do concreto<br>- Fissuras superficiais e profundas |
| 4.Reações deletérias | Certos agregados | Transformações de produtos ferrugino-sos presentes nos agregados | - Manchas, cavidades e protuberância na superfície do concreto |
| 5. Despassivação da armadura | Gás carbônico da atmosfera | Penetração por difu-são e reação com os hidróxidos alcalinos dos poros do con-creto, reduzindo o pH dessa solução | - Requer ensaios específicos<br>- Em casos mais acentuados, apresentam manchas, fissuras, destacamentos do concreto, perda da seção resistente e da aderência |
| 6. Despassivação da armadura | Cloretos | Penetração por difu-são,impregnação ou absorção capilar, despassivando a superfície do aço. | - Requer ensaios específicos<br>- Ao atingir a armadura apresenta os mesmos sinais do item 5. |

## 2.3 Métodos de Recuperação e Reforço de Estrutura com Concreto Armado

Para que haja o retorno do desempenho da estrutura para sua configuração original é necessário que sejam averiguados diversos aspectos de caráter técnico, a princípio, econômico e ambiental. Sabe-se que é comum a ocorrência de degradações pontuais e de baixa importância que não irão comprometer a estrutura como um todo. Enquanto há outros defeitos de alta gravidade que irão exigir reparos muitas vezes imediatos e, para isso, se faz necessário a compreensão completa da edificação em suas condições atual e de seu projeto estrutural.

Há diversas formas de reforços utilizadas atualmente nas estruturas de concreto armado, como uso de peças de concreto, perfis e chapas metálicas, polímeros de fibras reforçados e protensão externa. A escolha dentre as técnicas listadas várias de acordo com o projeto original, a demanda atual e o balanceamento entre custo e efeitos na aparência estética e na funcionalidade da edificação. Independente da técnica a ser empregada devem ser observados os seguintes aspectos:

- Recomendações básicas acerca do dimensionamento;
- Passo a passo para execução do reforço;
- Controle da qualidade do procedimento de execução;
- Inclusão do monitoramento das estruturas pós-execução do serviço;
- Condições de máximo e mínimo reforços;
- Condições de reforços averiguando globalmente a capacidade de resistência da estrutura.

De acordo com Juvandes *et al.* (2000), "recomendações para que o reforço das estruturas existentes não exceda 50% de sua resistência inicial e que, no caso da ruptura acidental do reforço, o sistema remanescente tenha segurança residual superior a 1,0, para evitar o colapso geral".

Da mesma forma, o comportamento geral da estrutura deve resistir ao incremento das sobrecargas pontuais e individuais existentes. Importante ressaltar que, para os reforços com baixa resistência ao fogo, como os perfis e chapas metálicas e os polímeros de fibras reforçados, deve-se fazer uso de restrições limitadas pela temperatura e tempo de tolerância dos materiais.

Na pesquisa empírica e técnica realizada por Piancasteli e Calixto (1997), realizou-se a análise do dimensionamento do reforço para vigas de concreto armado em sua situação de flexão. A seção de concreto e aço, nesse caso, foi aumentada na área em que a viga recebe a tração de uma carga de duração rápida. Com os resultados obtidos e a análise das deformações e deslocamentos ocorridos após o reforço, houve a seguinte conclusão: as vigas com reforço responderam de acordo com as solicitações presentes na ABNT NBR 6118.

No caso das aberturas de fissuras, o problema pode ser sanado, a posteriori, com a obturação (injeção) ou simples vedação das mesmas através do uso de diversos materiais e processos. No caso de vigas reforçadas, muitas vezes, essa intervenção se torna necessária, independentemente de todo cuidado que se possa ter nas fases de projeto e execução, em função das condições e necessidades impostas, principalmente, pela obra, destacando-se a fissuração devida à retração e à variação de temperatura. Observa-se, ainda, que o reforço com o aumento da seção transversal da viga através de concretagem convencional costuma exigir, por questões estéticas, a aplicação de uma pintura para uniformização de textura e cor, o que já propicia, dependendo do material especificado, substancial redução na abertura das fissuras - às vezes sua total vedação - e melhoria considerável da impermeabilidade do concreto - importante fator na durabilidade das estruturas de concreto. PIANCASTELI et al(1997)

## 3. CONCLUSÕES

Os termos comumente usados na engenharia civil para se referir às danificações que podem ocorrer em estruturas de concreto armado são: manifestações patológicas, reforço, recuperação, desempenho, durabilidade, vida útil, tempo de projeto e agressividade do meio ambiente, dentre outros. Estes conceitos compõem os elementos essenciais para a leitura plena da importância do projeto executado de forma coerente, minucioso conforme a necessidade e de acordo com o ambiente onde se encontra inserido.

O acompanhamento do desempenho das estruturas é a ferramenta para a reprodução das informações e dos dados referentes à danificação estrutural. Além disso, é o indicador do momento ideal para realização de intervenções focadas na prevenção de malefícios estruturais. O preenchimento aos requisitos de qualidade e durabilidade das edificações, independentemente de seu porte e de sua finalidade, precisar ser averiguados em todas as fases, sem exceção, do processo de construção e dos trabalhos posteriores, como de reparo e reforço. Os requisitos aqui citados são antecedentes cruciais para o desenvolvimento sustentado tão urgente nos dias atuais.

A ausência de normatização voltada ao tema das patologias, recuperação e reforços pode ser levada em consideração pelos tenros produtos colocados para divulgação que compreendam os diversos cenários que podem ocorrer, sendo este um estímulo à “indústria do reparo do reparo” que, infelizmente, assola o mercado da construção civil. Há um crescimento intenso nos estudos, pesquisas e fabricação de materiais para reforços e recuperação de estruturas de concreto armado.

As técnicas de recuperação e de reforços podem ser adotadas com base na concatenação de fatores como: necessidade de rápida intervenção, valor a ser gasto, probabilidade de interrupção do uso da edificação para que o procedimento seja realizado, tempo em que haverá a paralisação do funcionamento normal do espaço, tempo necessário para restabelecimento da carga, local onde a peça será instalada, pertinência entre a técnica selecionada e a patologia presente e, por fim, a compreender as intervenções em todos os seus aspectos. O grande problema que aflige a área responsável pelo reforço e recuperação de peças de concreto armado é a ausência de normas, as quais vêm sendo desenvolvidos devido à alta demanda e aos estudos existentes na área. Infelizmente, a falta de informação e de divulgação dos processos já estudados, faz com que se reitere a presença de um comércio falho de reparos errôneos das estruturas.

O comportamento complexo das estruturas que passaram por processo de reforço e de recuperação apresenta muitas dificuldades físicas e químicas como a sua resposta às demandas, a relação com o ambiente onde está inserido, dentre outros aspectos que saem do esforço do projeto de reparo, mas de suma importância para o seu funcionamento pleno. O principal problema encontrado é a sua atuação ao longo do passar do tempo.

Assim, pode-se concluir que a compreensão do cenário atual referente aos processos de recuperação e reforços de estruturas na construção civil precisa da colaboração de empresas e pesquisadores acadêmicos para que, dessa forma, haja a concretização das normas referentes ao tema e a compreensão plena sobre o assunto, já que se trata de um assunto de grande importância para o contexto atual.

## 4. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações Habitacional: Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. CALIXTO, J. M. F. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1997. 117p.

CARMONA FILHO, A. Patologia das Estruturas de Concreto. São Paulo: Curso CIPERC da ABCP, 2000. 98p. (Notas de Aula).

JUVANDES, L.; Esteves, J. L.; Figueiras, J. A.; Brito, F. M.; Marques, A. T. *Characterisation of composite materials and adhesion Systems to be Used in the Reiforced of Concrete Beams, NEW TECH, New Technologies in Structural Engineering,* LNEC, Lisboa, Portugal, 1997.

MEHTA, K. P., MONTEIRO, P. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. Tradução de P. R. L. Helene et al. São Paulo: Pini, 2008. 573p. Original em Inglês: Concrete: Structure, Properties and Materials.

PIANCASTELLI, E. M. Comportamento e Desempenho do Reforço a Flexão de Vigas de Concreto Armado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 205p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Estruturas – DEES).

TAKEUTI, A. R.; Comportamento resistente imediato e ao longo do tempo de pilares reforçados por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, (EESC-USP). São Carlos, 2003.

## 5. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Alimentos, Engenharia Química e Química Industrial: Engenharia de Processos

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DIMENSIONAMENTO DE DECANTADOR PARA SUSPENSÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO

**Cristieli Follador Farina[1]**
**Eunice Valduga[1]**
**Fernanda Baldus[1]**
**Franciele Bernardi[1]**
**Greice Maria Ostrowski[1]**
**Iemedelais Bordin[1]**
**Julia Faccio Demoliner[1]**
**Juliana Steffens[1]**
**Maria Eduarda Wlodarkievicz[1]**
**Paloma Truccolo Reato[1]**
[1]Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Avenida Sete de Setembro, 1621 – CEP 99709-910 – Erechim – Rio Grande do Sul – Brasil.
cris_farina@hotmail.com, veunice@uricer.edu.br, baldusfe@gmail.com, franci_bernardi@hotmail.com, greicemaria69@gmail.com bordiniemedelais@hotmail.com, demolinerjulia@gmail.com, julisteffens@uricer.edu.br, mw_eduarda@hotmail.com, palomareato@gmail.com

**Resumo:** A sedimentação é um processo simples e de baixo custo em que ocorre a suspensão de sólidos em um meio líquido, pela diferença de densidade, através da gravidade, a fim de se obter uma separação entre o espessado e o clarificado. Através disso, o objetivo do trabalho foi dimensionar decantadores usando uma suspensão de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) nas concentrações de 5% e 10%(m/v) usando os métodos de Talmadge e Fitch e Kynch. Por intermédio de cálculos, pode-se concluir que o segundo método, na concentração de 10%, se mostrou mais adequado utilizando uma área igual a $6{,}85 \times 10^9$ m² com um diâmetro de $9{,}34 \times 10^4$ m e uma altura estimada de 2m. Por fim, em relação a turbidez, conclui-se que a concentração de 10% teve um tempo maior de decantação, porém o arraste das partículas promoveu a parte clarificada mais límpida e com menor turbidez.

**Palavras chave:** Sedimentação, decantadores, carbonato de cálcio e turbidez.

## 1. INTRODUÇÃO

A separação de uma suspensão pela deposição dos sólidos por gravidade até a obtenção de um fluido límpido e uma lama com maior teor de sólidos é denominada de sedimentação. Segundo Cremasco (2012), os sedimentadores seguem a seguinte classificação: espessadores, cujo produto de interesse é a fase particulada e produzem espessados com alta concentração de partículas, e os clarificadores cujo produto de interesse é o líquido e o espessado possui baixas concentrações de partículas.

A sedimentação de uma suspensão aquosa de partículas ou flocos pode sofrer a influência de fatores tais como a natureza das partículas, distribuição de tamanhos, forma, densidade específica, propriedades químicas e mineralógicas, quantidade de sólidos na suspensão, Pré-tratamento da suspensão, para auxiliar na sedimentação (CREMASCO, 2012).

A sedimentação é uma das operações unitárias mais utilizadas na indústria química, como por exemplo, nas indústrias de beneficiamento de minério, alimentícias, no tratamento de água, assim como, em estações de tratamento de efluente. É um processo de separação sólido-fluido baseado na diferença de densidade entre o sólido e o líquido. Pela ação da gravidade as partículas sólidas presentes em uma corrente líquida são removidas, o que oferece ao processo as características de baixo custo e grande simplicidade operacional (FRANÇA e CASQUEIRA, 2007).

Na sedimentação, o objetivo é obter o clarificado (líquido clarificado) ou concentrar a suspensão de sólidos em líquidos e existem métodos específicos para tal objetivo (FOUST, 1982).

O objetivo do presente trabalho foi dimensionar decantadores (área, diâmetro e altura) para suspensão de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) nas concentrações de 5% e 10% (m/v), através do ensaio da proveta utilizando o Método

de Talmadge e Fitch e o Método de Kynch, além de determinar a turbidez da amostra antes e depois da decantação (clarificado).

## 2. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada a preparação de duas suspensões de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) em duas concentrações, 5% e 10% (m/v), em provetas de 250mL. A suspensão foi agitada com um bastão até sua uniformização. Após essa etapa, foi medido e anotado a cada dois mina altura da interface inferior do líquido clarificado, até a estabilização da amostra.

O dimensionamento de um decantador consiste no cálculo da área de decantação, diâmetro do decantador e altura do decantador. Na literatura existem diversas metodologias para a realização do dimensionado de um equipamento adequado. Foi utilizado, no presente trabalho, o método de Talmadge e Fitch e o método de Kynch para realizar o dimensionamento de um decantador para o carbonato de cálcio e realizada uma comparação entre ambos.

### 2.1 Método de Talmadge & Fitch

A metodologia de Talmadge e Fitch fundamenta-se na determinação do ponto crítico através de uma curva de sedimentação, através do qual pode-se dimensionar diretamente qual é a área mínima necessária para o decantador. Inicialmente, deve ser plotado um gráfico da relação do tempo ($\theta$) pela altura (Z) dos valores resultantes de um ensaio de sedimentação realizado em pequena escala. Assim, traça-se uma reta tangente ao ponto crítico, Pc, da curva originada e se obtém diretamente o tempo ($\theta_e$) e a altura final ($Z_e$), onde a parte sedimentada apresenta a concentração especificada para a lama espessada ($C_e$).

Com o valor do tempo no ponto crítico obtido do gráfico, foi calculado a área mínima do sedimentador pela Equação 01, o diâmetro pela Equação 02 e a altura pela Equação 03.

$$S = \frac{Q_a \theta_e}{Z_0} \quad \textbf{(01)}$$

Sendo: S é a área mínima do sedimentador, em m²; $Q_a$ é a vazão inicial, em m³/s; $\theta_e$ é o tempo de espessamento, em s, Equação 2.

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\Pi}} \quad \textbf{(02)}$$

Sendo: d o diâmetro do decantador, em m; S é a área mínima do sedimentador, em m², Equação 3..

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \quad \textbf{(03)}$$

Sendo: $H_1$ a altura superior, estimada em 1m; $H_2$ a altura intermediária, calculada pela Equação 04, em m; $H_3$ a altura da parte cônica do sedimentador, estimada em 0,5m; $H_4$ a altura da parte inferior de menor diâmetro, estimada em 0,5m.Para a realização do cálculo da altura do sedimentador, foi considerado o valor de $H_1$ igual a 1m e $H_3$ e $H_4$ igual a 0,5m. Já para determinar o valor de $H_2$ foi utilizada a Equação 04.

$$H_2 = \frac{Q_a Z_c (\theta_e - \theta_c)}{Z_0 S} \quad (04)$$

Sendo: $H_2$ a altura intermediária do decantador, em m; $Q_a$ a vazão inicial, em m³/s; $Z_c$ a altura no ponto crítico, em m; $\theta_f$ é o tempo final de decantação, em s; $\theta_c$ é o tempo do ponto crítico de decantação, em s; S é a área mínima do decantador, em m²; $Z_0$ é a altura inicial, em m.

### 2.2 Método de Kynch

Para realizar o dimensionamento do decantador pelo método de Kynch, deve-se, primeiramente, construir a curva da altura da parte sedimentada pelo respectivo tempo. Para isso, foram selecionados 11 pontos do experimento realizado em bancada para as duas concentrações iniciais de calcário e plotados os gráficos. Para cada ponto, foi traçado uma reta tangente para determinar a sua interceptação com o eixo y, definindo a altura de interesse para realização dos cálculos. Em seguida, determinou-se a velocidade em cada ponto analisado pela Equação 05 e as respectivas concentrações através da Equação 06. Para, então, dimensionar a área mínima do decantador, foi utilizada a Equação 07. Por fim, o ponto que apresentou o maior resultado para a área foi utilizado para estimar o diâmetro, pelas Equação 03 e a altura com a Equação 04.

$$U = \frac{Z}{t} \quad \textbf{(05)}$$

Sendo: U a velocidade em cada ponto, em m/s; Z a altura da parte sedimentada, em m; t é o tempo do ponto analisado, em s.

$$C = \frac{Z_0 C_0}{Z_i} \quad \textbf{(06)}$$

Sendo: C a concentração em cada ponto, em kg/m³; $Z_0$ a altura inicial, em m; $C_0$ a concentração inicial, kg/m³; $Z_i$ é a altura obtido pela reta tangente, em m. a altura do decantador, em m; $Q_a$ a vazão inicial, em m³/s; $Z_c$ a altura no ponto crítico, em m.

$$S = \frac{Q_a C_0 \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_e}\right)}{U} \quad \textbf{(07)}$$

Sendo: S a área mínima do decantador, em m²; $Q_a$ é a vazão inicial, em m³/h; $C_0$ é a concentração inicial, em kg/m³; C é a concentração é calculada para cada ponto, em kg/m³; $C_e$ é a concentração da lama espessada, em kg/m³; U é a velocidade de sedimentação em cada ponto, em m/s.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para determinar as dimensões pelo método de Talmadge e Fitch, primeiramente foi construído os gráficos apresentados nas Figura 01 e 02, as quais apresentam os dados de altura e tempo do processo de sedimentação das suspenções de carbonato de cálcio nas concentrações de 5% e 10%, respectivamente. Com a curva originada, encontrou-se as alturas e tempos do ponto crítico de cada solução, assim como os respectivos valores para a lama espessada. A Tabela 01 apresente esses dados, sendo a amostra

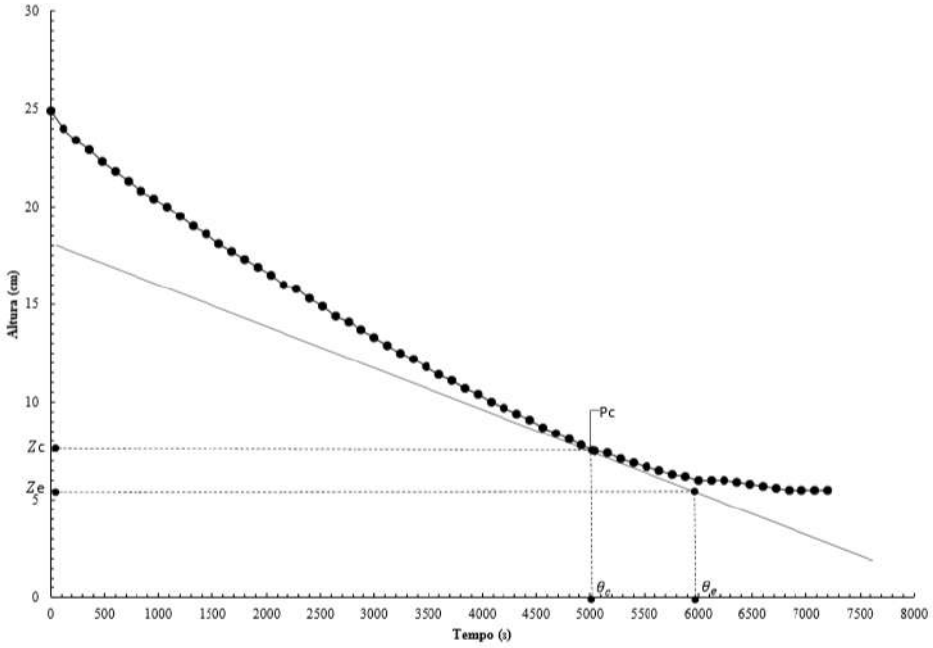



Figura 01: Altura interfacial (cm) versos tempo (s) da sedimentação da suspenção de carbonato de cálcio na concentração de 5%.

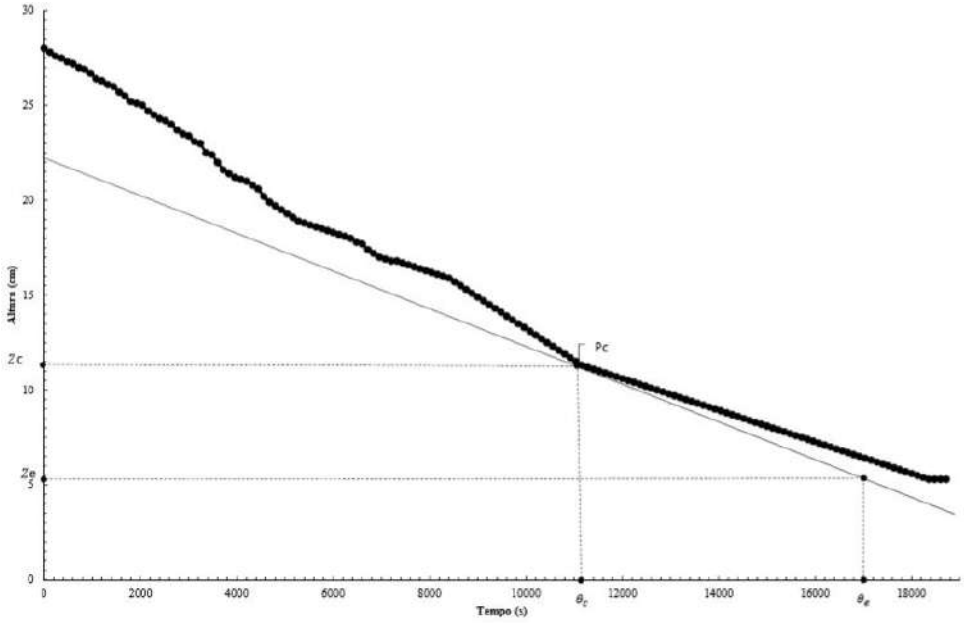



Figura 02: Altura interfacial (cm) versus tempo (s) da sedimentação da suspenção de carbonato de cálcio na concentração de 10%.

Tabela 01: Valores das alturas iniciais, críticas e da lama espessada e do tempo crítico e da lama epessada para o processo de sedimentação das soluções de carbonato de cálcio com concentração de 10% e 5%.

| $C_0$ (kg/m³) | $Z_0$ (m) | $Z_c$ (m) | $\theta_c$ (s) | $Z_e$ (m) | $\theta_e$ (s) |
|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 0,280 | 0,117 | 11190 | 0,053 | 17000 |
| 50 | 0,249 | 0,077 | 5010 | 0,055 | 5990 |

Com os valores obtidos pelo experimento já apresentados, foi dimensionada a área mínima do decantador pela Equação 01, o diâmetro do mesmo pela Equação 02 e estimada a altura do equipamento pela Equação 03 considerando uma vazão inicial de 3 m³/h. Os resultados obtidos para ambas soluções estão apresentador na Tabela 02.

Tabela 02: Resultados da área mínima para o decantador, diâmetro e altura para as duas concentrações de carbonato de cálcio pelo método Talmadge e Fitch.

| $C_0$ (kg/m³) | Qa (m³/h) | S (m²) | d (m) | H (m) |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 3 | 50,60 | 8,03 | 2,04 |
| 50 | 3 | 20,05 | 5,05 | 2,01 |

Para o dimensionamento pelo método de Kynch, inicialmente foi contruído a curva de sedimentação com 11 pontos do experimento, sendo que o primeiro é o do tempo 0 e o último é o da lama espessado, para as soluções de carbonato de cálcio com concentrações de 5% e 10%. Em cada ponto do gráfico foi traçada uma reta tangente de modo que interceptace o eixo y e desse origem a um valor de altura, denominado $Z_i$, conforme ilustrado para um ponto na Figura 03.

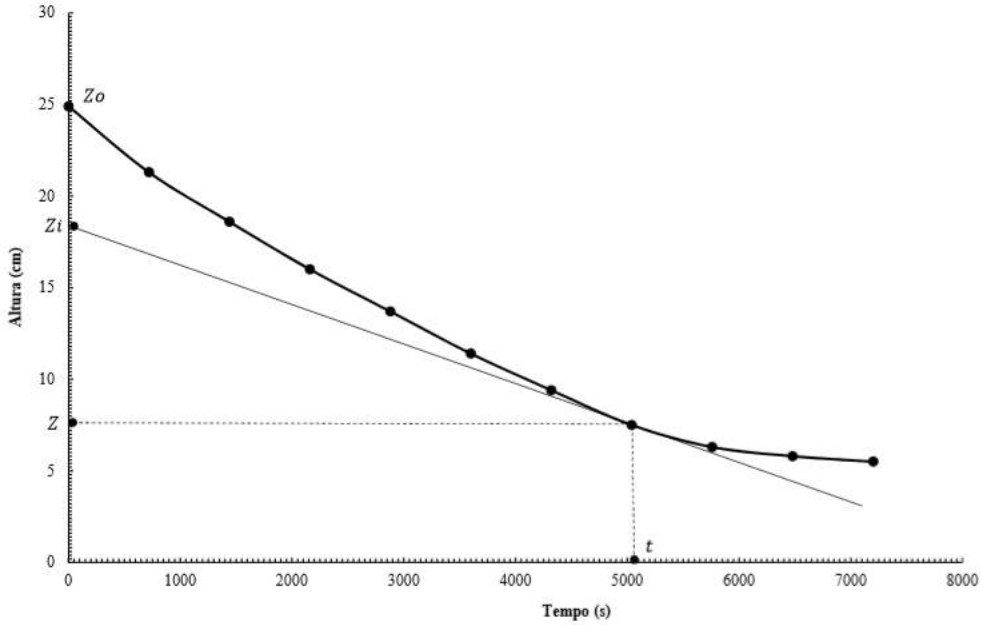



Figura 03: Reta tangente a um ponto da curva de sedimentação indicando o valor da altura $Z_i$.

A Tabela 03 apresenta os pontos selecionados do experimento da sedimentação do carbonato de cálcio de concentração 5%, assim como seus respectivo valores de velocidade resultante da Equação 05, da concentração calculados pela Equação 06 e a área mínima obtida pela Equação 07. Os mesmos dados para a analise realizada com concentração de 10% de carbonato de cálcio estão apresentador na Tabela 04.

Tabela 03: valores dos pontos selecionados da solução de carbonato de cálcio de 5% para montar a curva de sedimentação, assim como suas respectivas alturas de sedimentação, velocidades, alturas determinadas pela reta tangente, concentrações e áreas mínimas.

| t (s) | Z (m) | U (m/s) | Zi (m) | C (kg/m³) | S (m²) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,25 | 0 | 0,25 | 50,00 | - |
| 720 | 0,21 | $2,96 \times 10^{-4}$ | 0,24 | 51,03 | 2,14 |
| 1440 | 0,19 | $1,29 \times 10^{-4}$ | 0,24 | 52,53 | 4,72 |
| 2160 | 0,16 | $7,41 \times 10^{-5}$ | 0,23 | 53,21 | 8,08 |
| 2880 | 0,14 | $4,76 \times 10^{-5}$ | 0,23 | 54,61 | 12,16 |
| 3600 | 0,11 | $3,17 \times 10^{-5}$ | 0,22 | 57,11 | 17,21 |
| 4320 | 0,09 | $2,18 \times 10^{-5}$ | 0,21 | 59,86 | 23,49 |
| 5040 | 0,08 | $1,49 \times 10^{-5}$ | 0,18 | 68,41 | 28,53 |
| 5760 | 0,06 | $1,09 \times 10^{-5}$ | 0,13 | 99,60 | 21,49 |
| 6480 | 0,06 | $8,95 \times 10^{-6}$ | 0,09 | 141,48 | 12,34 |
| 7200 | 0,06 | $7,64 \times 10^{-6}$ | 0,06 | 226,36 | - |

Tabela 04: valores dos pontos selecionados da solução de carbonato de cálcio de 10% para montar a curva de sedimentação, assim como suas respectivas alturas de sedimentação, velocidades, alturas determinadas pela reta tangente, concentrações e áreas mínimas.

| t (s) | Z (m) | U (m/s) | Zi (m) | C (kg/m³) | S (m²) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,28 | 0 | 0,28 | 100,00 | - |
| 1920 | 0,25 | $1,31 \times 10^{-4}$ | 0,28 | 100,36 | 2,27 |
| 3840 | 0,21 | $5,57 \times 10^{-5}$ | 0,28 | 101,82 | 5,12 |
| 5760 | 0,19 | $3,21 \times 10^{-5}$ | 0,26 | 107,69 | 8,31 |
| 7200 | 0,17 | $2,33 \times 10^{-5}$ | 0,26 | 107,69 | 12,94 |
| 10320 | 0,13 | $1,23 \times 10^{-5}$ | 0,26 | 107,69 | 19,43 |
| 11520 | 0,11 | $9,55 \times 10^{-6}$ | 0,23 | 121,74 | 24,16 |
| 13320 | 0,10 | $7,13 \times 10^{-6}$ | 0,20 | 137,26 | 30,16 |
| 15120 | 0,08 | $5,29 \times 10^{-6}$ | 0,20 | 140,00 | 40,14 |
| 16800 | 0,07 | $3,93 \times 10^{-6}$ | 0,19 | 145,46 | 46,39 |
| 18720 | 0,05 | $2,83 \times 10^{-6}$ | 0,05 | 528,30 | - |

O primeiro ponto selecionado para ambas concentrações é o tempo 0, onde não há material sedimentado e, dessa forma, o valor determinado pela tangente é a própria altura inicial por estar em cima do eixo y. Assim, a concentração é o valor inicial do processo, não sendo necessário o uso da fórmula para sua determinação. E, a área mínima não foi calculada para esses pontos pelo fato do processo de sedimentação ainda não ter sido iniciado de fato. Já o último tempo selecionado nos dois gráficos é, também, os pontos onde os experimentos acabaram. Dessa forma, o valor encontrado para a concentração foi utilizado para caracterizar a lama espessada e realizar os cálculos da área mínima.

Para determinação dos demais parâmetros dimensionais do decantador foi selecionado o maior valor encontrado para a área mínima de cada concentração. Sendo que para a solução de carbonato de cálcio 5% foi 28,53m² e para a mistura de 10% foi 46,39 m². Dessa forma, esses pontos, assim como os diâmetros calculados com a Equação 03 e as alturas resultantes da Equação 04 para ambas concentrações e considerando uma vazão de alimentação de 3m³/h estão apresentados na Tabela 05.

Tabela 05: Resultados da área mínima para o decantador, diâmetro e altura para as duas concentrações de carbonato de cálcio pelo métdo de Kynch.

| $C_0$ (kg/m³) | Qa (m³/h) | S (m²) | d (m) | H (m) |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 3 | 46,39 | 6,03 | 2,01 |
| 50 | 3 | 28,53 | 7,68 | 2,02 |

Com os resultados obtidos, foram calculados os devios dos valores calculados por ambos os métodos sendo apresentados, então, para a concentração igual a 10% na Tabela 06 e para a concentração de 5% na Tabela 07.

Tabela 06: Desvios entres os valores obtidos pelo método de Talmadge e Fith em relação ao Kynch para a solução de carbonato de cálcio igual a 10%.

| Método | S (m²) | Desvio (%) | d (m) | Desvio (%) | H (m) | Desvio (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Talmadge e Fitch** | 50,60 | 9,07 | 8,03 | 33,17 | 2,04 | 1,5 |
| **Kynch** | 46,39 | | 6,03 | | 2,01 | |

Tabela 07: Desvios entres os valores obtidos pelo método de Talmadge e Fith em relação ao Kynch para a solução de carbonato de cálcio igual a 5%.

| Método | S (m²) | Desvio (%) | d (m) | Desvio (%) | H (m) | Desvio (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Talmadge e Fitch** | 20,05 | 29,72 | 5,05 | 34,24 | 2,01 | 0,5 |
| **Kynch** | 28,53 | | 7,68 | | 2,02 | |

Ao realizar uma analise sobre os valores obtidos, percebe-se que para a solução com 50 kg/m³ de carbonato de cálcio os desvios para a área mínima e diâmetro foram significativa maiores em relação à outra concentração. Isso decorre, possivelmente, pelo fato da sedimentação não ter ocorrido de forma esperada, originando uma curva distinta

em relação às existentes na literatura. Outro ponto a ser explorado é o fato de que, ao considerar um projeto real, deve-se sempre considerar um fator de segurança para que o equipamento seja eficiente. Para isso, leva-se em conta diversas concentrações do produto a ser sedimentado para assim obter-se os resultados mais críticos do procedimento. Da mesma forma, entre os valores calculados sempre se considera o de maior valor para realização do projeto. Assim, para as amostras de carbonato de cálcio analisadas no presente estudo, chega-se ao resultado que para o dimensionamento de um decantador adequado, deve-se utilizar uma área igual a 50,60 m² com um diâmetro igual a 8,03 m, obtidos pelo método de Talmadge e Fitch para uma concentração de 10%, e a altura estimada fica em torno de 2 m.

## 4. CONCLUSÃO

Observando o processo de decantação das duas amostras de carbonato de cálcio, 5% e 10%, percebeu-se que a de 5% decantou mais rapidamente, porém o clarificado ficou mais turvo. Já o de 10% teve a decantação um pouco mais lenta, porém o clarificado era menos turvo. Isso aconteceu devido a concentração do soluto ser maior, provocando um maior arraste das partículas enquanto ocorria a decantação.

Por fim, através da análise dos cálculos obtidos por meio dos dois métodos de dimensionamento de decantadores, Talmadge e Fitch e Kynch, é possível concluir que o primeiro se mostrou mais adequado, pois os resultados encontrados tornam mais viável a implantação do decantador nas condições desejadas. Isso, ocorreu, principalmente, em decorrência da decantação.

## 5. REFERÊNCIAS

Cremasco, M.A. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos. São Paulo. Blucher, São Paulo, 2012.

Foust, A. S. Princípios das Operações Unitárias. Rio de Janeiro: LTC, 1982

França, S. C. A. Casqueira, R. G. “Ensaios de Sedimentação”. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais, Parte VI – Desaguamento, cap. 23, pág. 393-408, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE UM COMPONENTE PARA O RODADO DE UMA MÁQUINA AGRÍCOLA

**Márcio Walber**
**Eduardo Ramos Lampert**
**Guilherme Andreolla Monteiro**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
mwalber@upf.br; 150754@upf.br; andmonteiro@gmail.com

***Resumo:*** *Nos dias atuais a agricultura tem sido alvo de estudos por parte dos engenheiros e empresas no que diz respeito à constante inovação e avanço das máquinas agrícolas que realizam o plantio de sementes, bem como a melhoria dos processos de fabricação e redução de custos dos mesmos. Este artigo apresenta uma análise da viabilidade da substituição do processo de fabricação uma peça chamada conjunto obstaculizador dinâmico, que faz parte de uma semeadora. A peça em questão é fabricada pelo do processo de fundição, e estre estudo tem como objetivo avaliar a possibilidade de substituição da mesma por um conjunto soldado com mesma geometria e dimensões. Na análise foram realizadas simulações numéricas através do método dos elementos finitos para verificar se o conjunto soldado possui a mesma resistência do fundido, bem como um protótipo foi construído com o intuito de analisar o processo e as dificuldades de fabricação. Por fim uma análise do custo dos dois processos foi realizada, mostrando a viabilidade financeira para substituição do componente.*

***Palavras chave:*** *Semeadora, Conjunto Soldado, Simulação Numérica, Elementos Finitos, Análise de Custo.*

## 1. INTRODUÇÃO

As máquinas agrícolas estão cada vez mais presentes na agricultura nos dias atuais, sendo alvo de estudos e investimentos por parte das empresas com o objetivo de melhorar o seu desempenho e também os processos de fabricação das mesmas. Dentre as máquinas agrícolas mais utilizadas estão as semeadoras, que são capazes de realizar a semeadura direta de grãos graúdos e são projetadas para médias e grandes propriedades. A Figura 1 mostra uma semeadora múltipla.




Figura 1. Semeadora múltipla

As semeadoras possuem um componente chamado conjunto obstaculizador dinâmico, que é responsável por acoplar o eixo do rodado ao braço da máquina, sendo fabricado de aço fundido SAE 1045 e adquirido através de fornecedores. A Figura 2 mostra o conjunto obstaculizador dinâmico.




Figura 2. Conjunto obstaculizador dinâmico

Um novo conceito foi então elaborado, a fim de melhorar o processo produtivo do componente e diminuir custos envolvidos, onde a ideia era substituir o conjunto fundido por um conjunto soldado, observando o critério de construção de componentes voltado à produção, segundo Pahl et al (2005).

Nessa situação será empregado o conceito de construção diferencial, onde um componente é decomposto em elementos, gerando vantagens do ponto de vista de produção. De forma geral as vantagens da construção diferencial são as seguintes:

- Possibilidade de utilização de peças semiacabadas, padronizadas ou de ampla disponibilidade;
- Fácil aquisição comparada a peças forjadas e fundidas;
- Grande adaptação às unidades de produção, com relação a dimensões e peso;
- Aumento do tamanho do lote de peças produzidas, sendo possível produção em pequena escala ou até peças avulsas;
- Redução das dimensões da peça, facilitando transporte e montagem;
- Melhor controle de qualidade;
- Melhoria na manutenção, através de peças intercambiáveis;
- Tempo de fabricação reduzido.

## 2. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados o conceito antigo da peça e o novo conceito proposto, bem como as análises numéricas, acompanhamento de fabricação e análises de tempos e custos de fabricação do novo conjunto. É importante realizar a análise numérica pois desse modo é possível determinar, antes de realizar a fabricação, se o conjunto soldado será capaz de suportar os esforços que o conjunto fundido suporta, sem se deformar ou sofrer falhas.

### 2.1 Apresentação do conceito atual

O conjunto obstaculizador dinâmico é responsável por acoplar o eixo do rodado da máquina ao braço do sistema de suspensão da máquina e é composto por uma bucha interna onde é encaixado o eixo da máquina através de rolamentos e borrachas de aperto, como pode ser observado na Figura 3.



Figura 3. Conjunto fundido

As nervuras estão presentes no conjunto com o objetivo de garantir a rigidez e auxiliar a suportar as cargas sofridas pela máquina durante a operação.

### 2.2 Apresentação do novo conceito

O novo conceito baseia-se na ideia de separar o conjunto fundido em partes, e depois uni-las através da solda. A decomposição foi feita de forma a não alterar o formato original do conjunto, mantendo a sua funcionalidade e princípio de funcionamento. As nervuras e proteção serão fabricadas em chapas de aço SAE 1045, bem como a bucha, que também será fabricada por este material, porém com a diferença que esta irá passar por um processo de usinagem do ajuste interno.

Todos os materiais, máquinas e ferramentas necessários para a fabricação podem ser encontrados na fábrica da empresa, facilitando a produção do novo componente, apresentado na Figura 4.

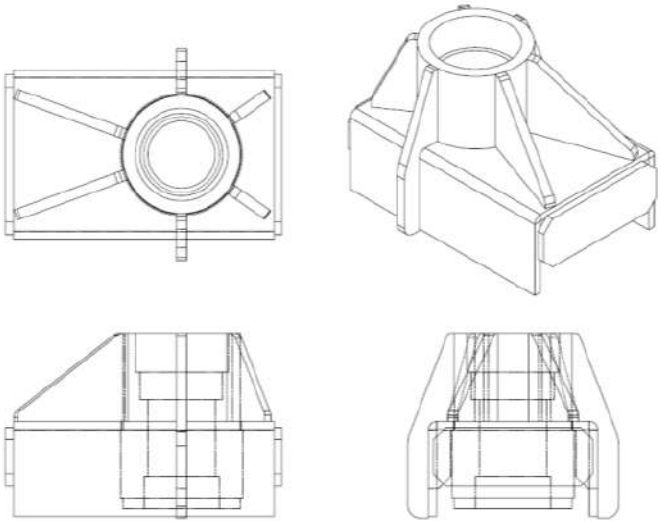


Figura 4. Conjunto soldado

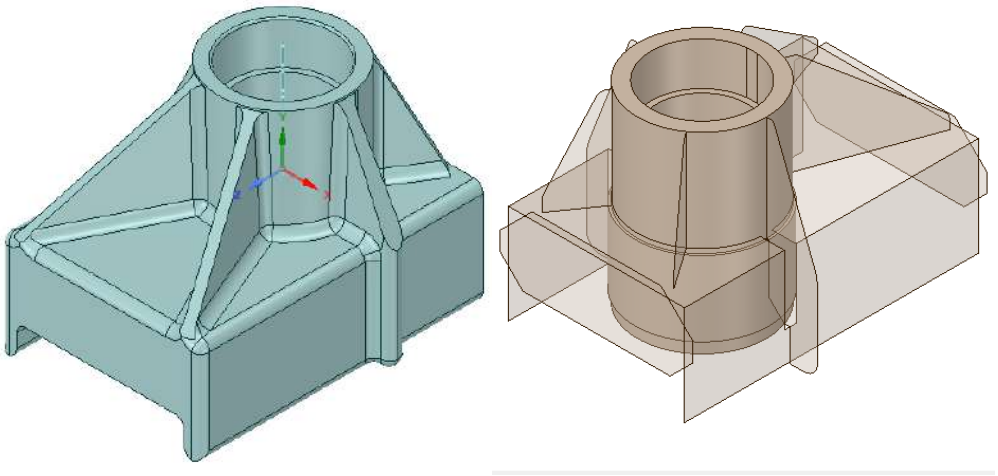
### 2.3 Modelagem e análise numérica

Para a análise dos esforços, foi utilizada a metodologia empregada por Alves Filho (2007), na qual é apresentado o roteiro para planejar a análise em elementos finitos, sendo dividido nos seguintes passos:

- Estabelecer os objetivos da análise

- Determinar o foco da análise
- Definição das cargas e pontos de vinculação da estrutura
- Avaliação das expectativas de comportamento
- Definição da malha de elementos finitos

Os desenhos dos componentes foram confeccionados em *software* CAD e importados para o *software* de análise estrutural que opera através do método dos elementos finitos. A Figura 5 mostra os componentes do conjunto já modelados.

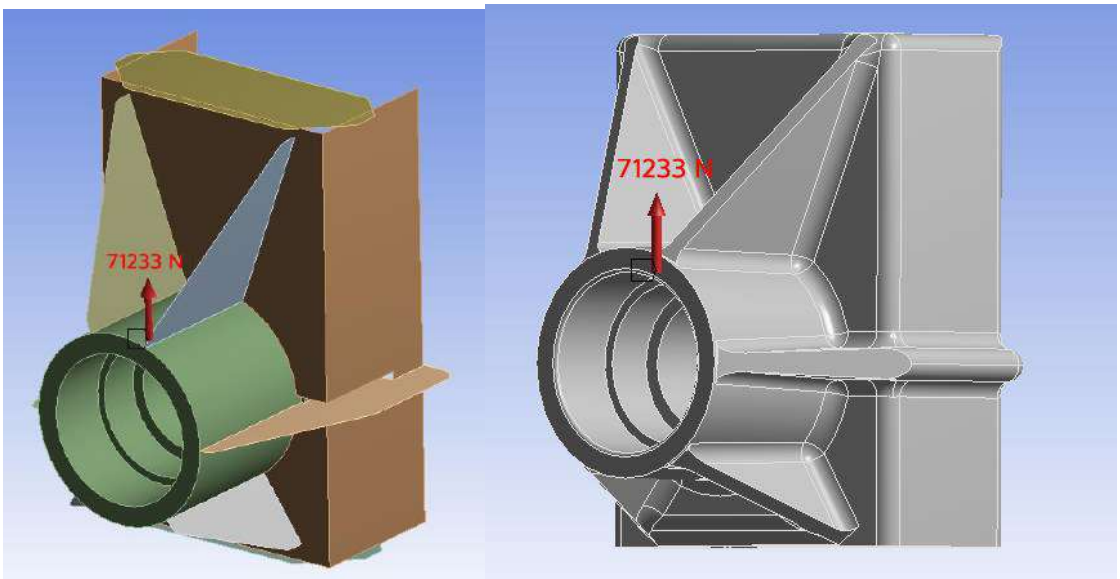


(5.a) Conjunto fundido (5.b) Conjunto soldado

Figura 5. Componentes modelados

Após modelados, foram definidas as cargas atuantes nos componentes. Para a definição foi utilizado o princípio de que o conjunto está sob a pior condução, ou seja, totalmente carregada e com acréscimo de 1,5 como fator de carga. Para representar de forma ideal a maneira como a carga atua no conjunto, seria necessário realizar ensaios em campo, utilizando *strain gauges* para obtenção de valores de deformação.

O valor da carga aplicada foi obtido através do peso da máquina carregada com sementes, somada a capacidade de adubo e multiplicada pelo fator de carga de 1,5, resultando no valor de 7263,75 kg. O ponto de aplicação da carga foi diretamente no montante da bucha e a aresta fixa foi aplicada na base do conjunto, como pode ser visualizado na Figura 6.

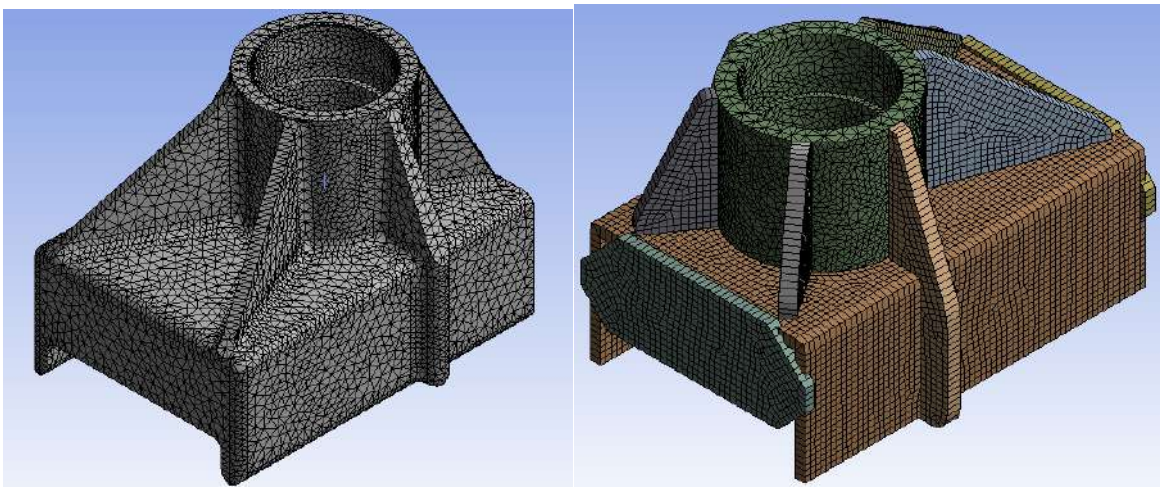



(6.a) Conjunto soldado (6.b) Conjunto fundido

Figura 6. Cargas aplicadas

Após aplicadas as cargas e os pontos de fixação, foram criadas as malhas para ambos os conjuntos. Para o conjunto fundido foi escolhido o elemento sólido com tamanho de elemento de cinco milímetros, já para o conjunto fundido utilizou-se o elemento sólido apenas para a bucha, sendo aplicado o elemento de casca para as nervuras e proteções, mantendo o tamanho do elemento em cinco milímetros.

O elemento sólido foi escolhido pois possui oito nós e três graus de liberdade em cada nó, sendo possível representar de maneira satisfatório o comportamento das peças. Já o elemento de casca foi escolhido pois é o elemento ideal para representar o comportamento de chapas finas e sua possível flexão, sendo composto por quatro nós e seis graus de liberdade em cada nó. A Figura 7 mostra os conjuntos com as malhas geradas.



(7.a) Conjunto fundido (7.b) Conjunto soldado

Figura 7. Malha de elementos finitos

O número de nós gerados para o conjunto fundido foi de 123280 nós e o número de elementos foi de 71540. Já para o conjunto soldado, o número de nós gerados foi de 66268 nós e o número de elementos foi de 41340.

### 2.4 Fabricação e montagem

Conforme o projeto, foi construído um protótipo para analisar as dificuldades de fabricação e de montagem do novo conjunto. Para a fabricação das nervuras e proteções do protótipo foram utilizadas chapas de aço SAE 1045, que foram cortadas em uma máquina a laser, já para a fabricação da bucha, foi utilizado uma barra de aço SAE 4140, que foi cortada e usinada. A Figura 8 mostra as peças após o corte a laser.



Figura 8. Peças cortadas

Após fabricados os componentes do conjunto, tem-se a etapa de união dos mesmos através do processo de soldagem, onde foi utilizado o processo de solda MIG. Nesta etapa ocorreu um fenômeno chamado de ovalização, decorrente do alto calor envolvido no processo, que aquece a bucha causando deformação nas suas dimensões, porém, este fenômeno já havia sido previsto no projeto, onde na usinagem da bucha, um sobre metal de 2 milímetros foi deixado para uma posterior operação de retrabalho e correção da ovalização. A Figura 9 mostra o conjunto já soldado e montado no dispositivo para realizar o retrabalho no centro de usinagem.



Figura 9. Conjunto soldado montado no dispositivo

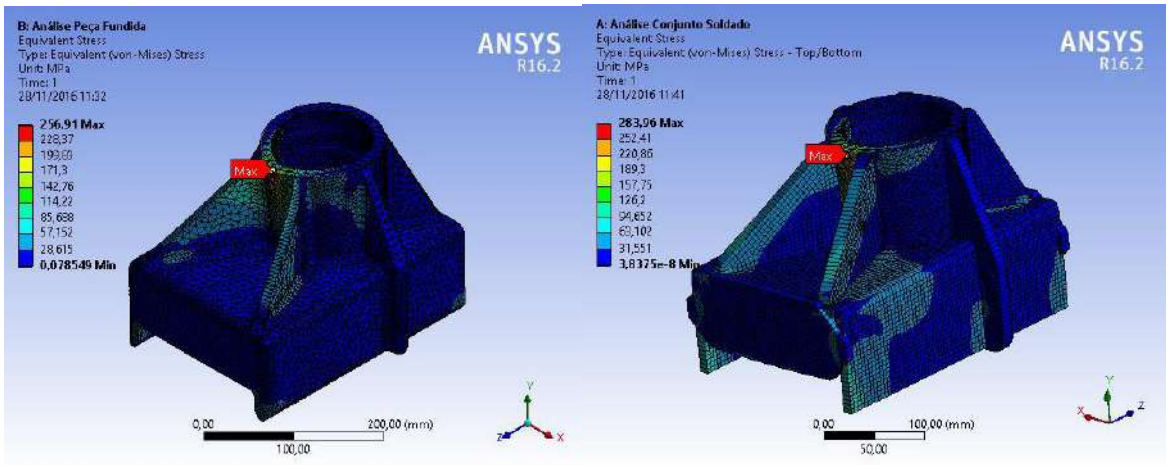
Após realizado o retrabalho, tem-se a etapa de lavagem, montagem no eixo e pintura do conjunto, para posterior montagem na Semeadora. Comparando o conjunto soldado com o conjunto fundido, nota-se que a fabricação e a montagem ocorreram normalmente, onde todas as peças e componentes foram encaixados conforme as tolerâncias.

## 3. DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões dos assuntos abordados na metodologia.

### 3.1 Análise comparativa de esforços

A análise comparativa dos esforços foi realizada com o objetivo de observar através do *software* de análise numérica como a alteração do processo de fabricação do conjunto obstaculizador afetaria na integridade estrutural do componente. As análises ocorreram seguindo o critério de Von Misses, que considera a falha por escoamento, utilizando o método das tensões admissíveis. Assim, a Figura 10 mostra as tensões encontradas em ambos os conceitos.




(10.a) Conjunto fundido (10.b) Conjunto soldado

Figura 10. Esforço máximo no componente

Observa-se que o componente fundido (10.a) apresentou uma tensão máxima de 256,91 MPa, enquanto o componente soldado (10.b), apresentou 283,96 MPa, ambas surgindo no mesmo local de aplicação da carga. Comparando os resultados, é possível observar uma proximidade nos valores, apresentando uma diferença de apenas 27,05 MPa, o que representa uma fatia de 9,5% da tensão total de 283,96 MPa. Dessa forma, observa-se que os dois conceitos do conjunto apresentaram comportamentos similares em relação ao critério de falha por tensão de escoamento.

### 3.2 Fabricação e montagem

Durante a construção observou-se uma dificuldade no posicionamento das peças do conjunto para a realização da soldagem, portanto foi necessária a construção de uma "máscara" para encaixar as nervuras no espaçamento correto. Sugere-se, como forma de facilitar o processo, a alteração das nervuras e da chapa base, através de adição de dentes para posicionamento, conforme apresentado na Figura 11.



Figura 11. Sugestão de alteração do conjunto

As demais etapas de fabricação e montagem ocorreram de acordo com o roteiro de processo, sem anormalidades.

### 3.3 Custos

Com relação aos custos foi feita uma comparação de valores, levando em conta o custo para aquisição de um conjunto fundido e os custos envolvidos na fabricação do conjunto soldado. Os custos para aquisição de matéria prima podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Custo para compra de matéria prima

| PEÇA | MATERIAL | CUSTO POR KG | PESO DA PEÇA | VALOR DA PEÇA |
|---|---|---|---|---|
| Chapa 9,5 mm | Aço SAE 1045 | R$ 2,67 | 13,153 kg | R$ 35,12 |
| Chapa 12,7 mm | Aço SAE 1045 | R$ 2,67 | 7,165 kg | R$ 19,13 |
| Barra redonda | Aço SAE 1045 | R$ 3,45 | 32, 95 kg | R$ 113,68 |

Em relação às chapas, a análise do custo se deu através do tempo de corte necessário e ao valor atribuído a máquina, conforme Durán (2004). Os tempos de corte e o custo da máquina por hora podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Tempos de corte e custo por hora de uso da máquina

| PEÇA | OPERAÇÃO | TEMPO (HORA) | TEMPO (MINUTO) | CUSTO P/ HORA MÁQUINA | TOTAL GASTO |
|---|---|---|---|---|---|
| Chapa 9,5 mm | Corte a Laser | 0,05 | 3 | R$ 170,00 | R$ 8,46 |
| Chapa 12,7 mm | Corte a Laser | 0,059 | 3,54 | R$ 170,00 | R$ 10,01 |
| Chapa 9,5 mm | Dobra | 0,07 | 4,2 | R$ 64,39 | R$ 4,29 |
| Barra Redonda | Usinagem | 0,707 | 42,42 | R$ 64,33 | R$ 45,46 |
| Conjunto | Ponteamento | 0,053 | 3,18 | R$ 58,02 | R$ 3,08 |
| | Solda | 0,207 | 12,42 | R$ 58,02 | R$ 12,02 |

O custo para a compra do componente em aço fundido foi de R$ 508,54, sendo que o custo de fabricação do novo conceito foi de R$ 239,23. Desta maneira, é possível observar uma redução de R$ 269,31 no valor necessário para a obtenção do conjunto obstaculizador, redução essa que representa 52,95% do valor do conjunto fundido, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação de custos e ganhos

| DESCRIÇÃO | CUSTO PARA ADQUIRIR | TEMPO NECESSÁRIO P/ 20 PEÇAS | REDUÇÃO DO CUSTO | PORCENTAGEM DE REDUÇÃO |
|---|---|---|---|---|
| CONJUNTO FUNDIDO | R$ 508,54 | 2 a 3 semanas | R$ 269,31 | 52,95% |
| CONJUNTO SOLDADO | R$ 239,23 | 20 horas | | |

## 4. CONCLUSÕES

Este estudo mostrou-se de grande importância, pois foi possível mostrar através de conceitos e métodos de engenharia, como analisar a modificação de um componente e quais os fatores que poderiam ser afetados por esta modificação.

O objetivo geral foi atingido, onde o novo componente mostrou-se viável em todos os pontos, concluindo que a modificação do conceito do componente possibilitaria ganhos financeiros e no âmbito industrial, pois o mesmo eliminaria a necessidade de serviços terceirizados, evitando extensivos prazos de entrega. Com a modificação foi possível reduzir custos e aumentar a quantidade de peças produzidas, possibilitando maior lucratividade para a empresa.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, Avelino. *Elementos finitos: a base da tecnologia CAE*. São Paulo: Érica, 2007.
DURÁN, Orlando. *Engenharia de custos industriais.* Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2004.
PAHL, Gerald, [et al]. *Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.* São Paulo, Edgar Blücher, 2005.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# FOTOFUNCIONALIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE FILMES POLIMÉRICOS

**Eliézer Quadro Oreste**
**Maria Carolina Salum Bulhosa**
**Bruna Lisboa Gonçalves**
**Nathalia Souza Nascimento**
**Raiane Emanuelle Lino De Assunção**
**Juliano Rosa de Menezes Vicenti**
**Felipe Kessler**
Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Química e Alimentos – EQA, Programa de Pós Graduação em Química Tecnológica e Ambiental – PPGQTA, 96203-900, Rio Grande, RS, Brasil.
eliezerquadro@gmail.com, mcsbulhosa@yahoo.com.br, lisboa_bruna@hotmail.com, nathalias_29@hotmail.com, assuncao.raiane@gmail.com, julianovicenti@gmail.com, felipekessler@gmail.com

**Resumo:** *O rápido crescimento no consumo de energia necessita do desenvolvimento de novas tecnologias que não somente sejam capazes de aumentar a geração de energia, como também sejam eficientes no consumo. Dispositivo opto eletrônicos flexíveis (FOD) são necessários para suprir o avanço tecnológico mundial. Ao desenvolver novos materiais para a construção de FOD, estes necessitam exibir características condutoras e/ou espectroscópicas passíveis de fornecer resposta ao estímulo de diferentes fontes. A fotofuncionalização de superfícies poliméricas pode ser uma técnica importante, especialmente utilizando compostos químicos. Tais compostos apresentam todas as características necessárias para serem aplicadas em tecnologias FOD, e a sua enxertia em superfícies poliméricas traz promissoras possibilidades. Este trabalho propõe a fotofuncionalização superficial de politereftalato de etileno (PET) com um azo composto (contendo grupo fluoróforo), a fim de atribuir características espectroscópicas diferenciadas, sem comprometer suas propriedades térmicas e mecânicas. Após a obtenção de filmes e a modificação superficial dos mesmos, diferentes técnicas de caracterização foram utilizadas, detectando grupos funcionais característicos do azo composto que então foi enxertado na superfície polimérica, comprovando assim que o método proposto de funcionalização se mostrou eficiente. Isso credencia os novos matérias obtidos para uma posterior construção de um protótipo de FOD, ao qual deverá ser devidamente qualificado e validado.*

**Palavras chave:** *Dispositivos optoeletrônicos, polímeros, radiação UV.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma atividade industrial concentrada em commodities. Os setores da indústria da transformação dominantes na conjuntura estadual (Rio Grande do Sul) e nacional concentram-se em alimentos, fumo, celulose, derivados do petróleo, químicos, polímeros, metalurgia e mineração. Porém quando comparado ao aumento no consumo das famílias, há uma estagnação da indústria da transformação nos anos recentes. Em uma análise rápida e generalista, pode-se dizer que a produção do estado do Rio Grande do Sul não acompanha a própria tendência de mercado de consumo interno. Segundo a Fundação de Economia e Estatística do estado do Rio Grande do Sul - FEE (FEE, 2019), em sua importante série de publicações "RS 2030", somente a maturação da revolução tecnológica poderá possibilitar a retomada de investimentos. Sendo assim, o paradigma tecnológico que pauta a análise das perspectivas econômicas mundiais para 2030, reflete na necessária consciência de que tecnologias da informação e da comunicação, baseadas na eletrônica, das quais se tornaram núcleo dominante de inovação tecnológica, estão longe de ter seus efeitos econômicos e sociais esgotados em meados da segunda década do século XXI. Das 12 inovações com maior impacto econômico potencial até 2025, estima que seis dessas inovações estarão diretamente ligadas às tecnologias de informação e de comunicação (internet móvel, automação do trabalho intelectual, "internet das coisas", computação em nuvem, robótica avançada e veículos autônomos ou semiautônomos) (FEE, 2019).

O rápido crescimento do consumo de tecnologia por nossa sociedade, aliado com o aumento populacional, concentra como uma das principais preocupações do século 21 a busca por fontes energéticas eficientes. Projeta-se que a demanda energética mundial para 2030 aumente 70 %, baseado nos atuais índices de consumo. (Li *et al*., 2006) Além de incluir nesta busca a necessidade por fontes renováveis e ambientalmente amigáveis, é importante o desenvolvimento de dispositivos e processos que consumam menos energia que os dispositivos atuais. As células solares de silício evoluíram em eficiência, por exemplo, alcançando uma eficiência média de 25 %. Ainda que técnicas de manufatura

tenham evoluído de forma a minimizar custos, os painéis de silício ainda são considerados caros para seu uso ser mais disseminado. Da mesma forma, dispositivos eletrônicos como telas, resistores, sensores e detectores, são baseados em materiais que demandam processamento e tecnologia que não são robustas o suficiente para serem incorporadas pela indústria de países em desenvolvimento como o Brasil. Os dispositivos que usam material orgânico são muito atrativos por causa de suas vantagens como baixo peso, potencial baixo custo, capacidade de formação de filmes finos, grande área flexível e facilidade de fabricação (Shirota and Kageyama, 2007). Sendo assim, em um país que majoritariamente importa todos os dispositivos eletrônicos para fabricação de maquinários de baixa complexidade, é necessário que novos processos sejam desenvolvidos com foco neste setor.

Se tratando de dispositivos eletrônicos, do mesmo modo, a utilização de novas perspectivas (Chagas *et al.*, 2015; Kessler *et al.*, 2016; Kessler *et al.*, 2018) e arquiteturas coloca em voga a possibilidade de utilização de luz para processos que antes contavam somente com o uso de eletricidade, definindo-se assim dispositivos opto eletrônicos. Quando consideramos dispositivos opto eletrônicos, um componente chave destes são os chamados dispositivos flexíveis, ou seja, que possam ser dobrados, curvados sem comprometer suas características ópticas e elétricas (Wang and Shi, 2015). Estes dispositivos que conseguem converter, processar ou armazenar energia, mesmo sobre repetitivas ações de força mecânica sem decrescer dramaticamente seu funcionamento, tem atraído muita atenção por causa do grande potencial de aplicação na indústria de eletrônicos, como por exemplo, telas flexíveis e enroláveis, papéis eletrônicos, telas sensíveis ao toque, etiquetas eletrônicas de identificação, sensores implantáveis e vestíveis, células solares (Wang and Shi, 2015). Sensores ópticos, por exemplo, são extremamente vantajosos pois operam na velocidade da luz e resistentes à interferência magnética (Wang *et al.*, 2018).

Considerando que a nossa indústria global encaminha-se para uma nova revolução, assim chamada "Indústria 4.0", onde espaços automatizados serão cada vez mais frequentes, o uso de dispositivos opto eletrônicos flexíveis (FOD) e dispositivos eletrônicos flexíveis (FED) serão tão presente quanto um parafuso está presente em plantas industriais atuais. Sendo assim, a investigação na obtenção de novos materiais a partir de matrizes poliméricas já produzidas em larga escala, porém funcionalizadas superficialmente com moléculas e materiais que atribuirão características opto eletrônicas não somente multiplica as possibilidades de investigação, como procura suprir as necessidades científicas-tecnológicas do país.

Em virtude da grande compatibilidade orgânica, o uso de polímeros em FED e FOD mostra-se um caminho mais promissor. Embora haja várias aplicações, desde a área de armazenamento de energia, conversão, emissão de luz, e sensores das mais diversas classes e formatos (Ha *et al.*, 2018), para habilitar um material para o uso nestes dispositivos, o material deve responder à corrente elétrica, ou em caso de um dielétrico, uma vez estimulado (por luz, campo magnético ou elétrico, pressão, temperatura, meio químico, etc.) deve-se tornar condutor. Além disso, esse material também poderá responder de forma luminosa, seja emitindo luz como resposta à um estimulo (luz, eletricidade, pressão, temperatura, etc.) (Ha *et al.*, 2018).

Ao gerar um novo material para ser utilizado como FED ou FOD, características como capacitância, condutividade, impedância, fluorescência, fosforescência devem ser determinadas, bem como as respostas nestas características quando o material for estimulado. Devido ao grande potencial de aplicação nos mais diversos meios, características mecânicas e térmicas dos FOD e FED devem ser investigadas de modos a assegurar seu funcionamento e eficiência (Yi *et al.*, 2018). Polímeros de alto desempenho como as poli imidas e poli imidas modificadas já são aplicadas, principalmente pela alta temperatura de transição vítrea e a resistência térmica, o que as compatibiliza para uma grande gama de aplicações industriais (Wang *et al.*, 2018).

Estratégias de sucesso tem conseguido obter nano compósitos e compósitos que apresentam resposta em uma ou ambas das situações citadas acima, sendo ainda capaz de unir características mecânicas e térmicas necessárias (Ha *et al.*, 2018). Os chamados MOFs (do inglês Metal-Organic Frameworks) são de grande interesse nos últimos anos, devido algumas propriedades químicas e elétricas, especialmente nos dispositivos eletrônicos e armazenamento de energia. O uso de componentes inorgânicos 2D MOFs (Zhang *et al.*, 2018; Sundriyal *et al.*, 2018) tem sido uma alternativa interessante para incorporar em materiais poliméricos características de resposta, uma vez que a variedade de materiais abrange quase toda a tabela periódica (Cong *et al.*, 2014; Miro *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2018). Sendo assim, as possibilidades de compatibilização são muitas.

Além de todas as propriedades citadas anteriormente, um FOD ou FED deve ainda apresentar-se de forma em que os filmes ou dispositivos sejam opticamente transparentes (Wang *et al.*, 2018). Deste modo a utilização de compósitos e compostos inorgânicos muitas vezes impossibilita esta aplicação, pois dependendo da interação carga-matriz, a transparência e a cor podem comprometer seu uso. Com isso, a modificação superficial sobressai-se de modo a inferir novas propriedades ao material sem modificar as características da matriz (Kessler *et al.*, 2013). Especialmente com controle sobre a espessura e camadas modificadas, a transparência e a cor do material podem ser mantidas (Kessler *et al.*, 2018).

Estudos mostram o uso de diversos tipos de compostos que podem ser aplicados sobre a superfície de polímeros, tornando-o funcional para diferentes tipos de aplicações (Ptaszkowska-Koniarz *et al.*, 2017). Um exemplo é a possibilidade do uso de azo compostos, os quais tratam-se de espécies químicas caracterizadas pela presença de ligação dupla entre dois átomos de nitrogênio (R1-N=N-R2), sendo que R1 e R2 pode ser diferentes tipos de substituintes, como por exemplo, do tipo alquila ou arila. Esse tipo de composto é caracterizado pela sua coloração, sendo amarelo ou

vermelho as mais comuns, a qual pode estar atribuída a estabilidade alcançada pelo grupo azo e os substituintes através de uma conjugação estendida. Além disso, tem-se a presença de auxocromos (elétron doadores/retiradores) ligados aos substituintes (em anéis aromáticos), os quais modificam a faixa de comprimentos de onda em que o azo composto irá absorver e consequentemente na radiação eletromagnética complementar que será observada (Aljamali 2015; Awale *et al.*, 2013).

Tornar uma superfície funcional é adaptá-la a um dado uso ou processo, de modo a maximizar as propriedades ou resultados requeridos do mesmo. Do mesmo modo, a justificativa para uma funcionalização superficial e não total advém do fato de possibilitar manter certas características que o material original possui, mas que poderiam ser perdidas no processo de modificação. Este preceito é largamente empregado nas indústrias de revestimentos, anticorrosivos, e em muitos processos e instalações industriais, onde se procura evitar o contato de determinado composto ou material com as instalações e maquinários, a fim de evitar contaminação e degradação. A modificação superficial polimérica segue o mesmo preceito ao tentar adequar superfícies tanto quimicamente, quanto morfologicamente (hidrofóbicas, hidrofílicas, rugosas ou não, aderentes ou não), para aplicações que terão propriedades superficiais muitas vezes distintas e únicas para cada processo, sem que as propriedades químicas e físicas originais do polímero sejam alteradas.

A literatura reporta diversos métodos que podem ser empregados para a modificação da superfície de materiais, sendo que os mais usuais baseiam-se em estudos com plasma (Aleman *et al.*, 2018; Oehr, 2003; Yoshida *et al.*, 2013), corona (Han *et al.*, 2015; Popelka *et al.*, 2018), radiação ultravioleta (UV) (Amokrane *et al.*, 2018; Kessler *et al.*, 2018; Ng *et al.*, 2017; Tamai *et al.*, 2019), enxertia química (Bhattacharya and Misra, 2004; Upadhyaya *et al.*, 2018) e entre outras (Goddard and Hotchkiss, 2007; Nemani *et al.*, 2018; Hetemi and Pinson, 2017). A escolha do melhor método a ser empregado irá depender das propriedades requeridas, bem como da aplicação do material a ser obtido. Em contra partida, dependendo do método adotado, a nova superfície pode sofrer uma deterioração durante o processo de modificação (degradação térmica ou química), afetando diretamente em suas propriedades, tais como térmicas, mecânicas, morfologias e entre outras (He *et al.*, 2009).

Inúmeras são as aplicações dos produtos obtidos após a modificação superficial desses materiais, com a expectativa de um crescimento ainda maior nesse segmento devido a quantidade de materiais e modificações que ainda podem ser explorados (Nemani *et al.*, 2018). Recentemente, estudos envolvendo o desenvolvimento de dispositivos com materiais superficialmente modificados vem ganhando destaque, devido a sua utilidade em diversas áreas da ciência (Aleman *et al.*, 2018).

Os filmes poliméricos podem ser funcionalizados superficialmente com compostos contendo um grupo característico, que, ao interagir com analitos, levam a mudanças em algum tipo de resposta que é mensurável, tais como os sinais elétrico, eletrônico, magnético ou ótico. Por exemplo, se a unidade de sinalização situada no sensor for um grupo cromóforo, a detecção do analito é indicada pela mudança de coloração, mas se essa unidade for um fluoróforo, a detecção é obtida pela mudança na intensidade de emissão fluorescente (Jung *et al.*, 2009; Zimmermann-Dimer and Machado, 2008).

O uso de propriedades fluorescentes de alguns compostos químicos tem sido explorado para aplicação em diversos setores. Essa propriedade é caracterizada como um fenômeno da luminescência, em que a molécula absorve energia em um determinado comprimento de onda, fazendo com que os elétrons de valência migrem de um orbital menos energético (estado fundamental) para um de maior energia (estado excitado). Após uma pequena fração de segundos, esses elétrons presentes no mais baixo nível vibracional no estado excitado (S1) tendem a voltar para o seu estado fundamental (S0) e, como consequência, emitem essa energia na forma de um fóton de luz. Entretanto, a absorção de energia pode promover os elétrons para níveis superiores ao S1 no estado excitado, sendo essa energia parcialmente dissipada, através de processos não radioativos, até alcançar esse primeiro nível do estado excitado, que é de onde ocorre a perda energética e resulta na emissão de radiação fluorescente. Sendo assim, o comprimento de onda emitido independe da energia absorvida, ou seja, emissões fluorescentes ocorrem em um comprimento de onda mais longo (de menor energia) (Lichtman and Conchello, 2005).

Para uma possível aplicação como FOD, parâmetros operacionais devem ser otimizados durante o seu desenvolvimento, para que esse dispositivo tenha um melhor desempenho frente as condições de análise em que será submetido. Dentre esses parâmetros, destaca-se estudos com relação ao método utilizado para modificação superficial do material; característica estrutural do material suporte e do composto a ser incorporada em sua superfície; concentração e forma em que essa substância é adicionada; temperatura, pH e tempo do meio reacional; dentre outras (Rogers and Semancik, 2012; Vergara and Llobet, 2012).

Com base no que foi exposto, o presente trabalho tem por objetivo a funcionalização superficial de filme PET com 4-(4-hidroxifenilazo)benzoico, através de método fotólise com emprego de radiação UV, confirmando a eficiência desse processo através da caracterização do filme final com diferentes técnicas espectroscópicas e microscópicas, a fim de credencia-lo para uma possível aplicação como FOD.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Filmes poliméricos

Todos os materiais que foram utilizados passaram por uma etapa de limpeza com uma sequência de três solventes, em ordem crescente de polaridade, a fim de remover qualquer impureza orgânica. Os solventes utilizados foram clorofórmio, tetraidrofurano e etanol. Foi utilizado filme de PET no presente trabalho, que foi obtido a partir de material reciclado.

### 2.2 Sintese de azo composto

O azo composto foi sintetizado através de uma reação de substituição eletrolítica aromática, na qual o eletrófilo efetivo é o cátion diazônio. O procedimento experimental é o mesmo descrito por "Roy *et al.*, 2016", obtendo-se o ácido 4-(4-hidroxifenilazo)benzoico, conforme reação apresentada na Fig 1.

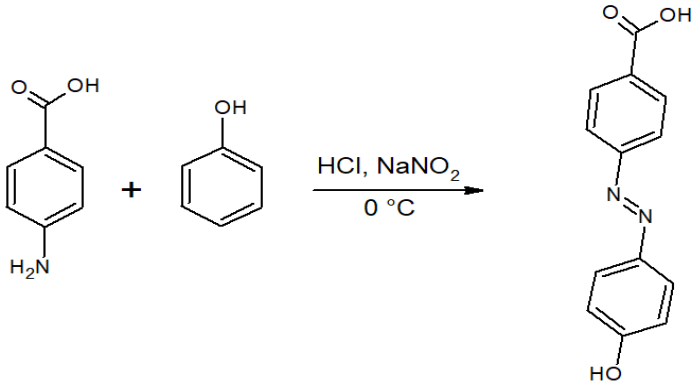



Figura 1. Reação de obtenção do ácido 4-(4-hidroxifenilazo)benzoico.

### 2.3 Funcionalização da superficie de polímeros

O azo composto sintetizado foram primeiramente solubilizado em isopropanol, para posteriormente ser inserido sobre a superfície do PET, que se deu através de método fotólise com emprego de radiação UV. Esse método com irradiação UV foi realizado a temperatura ambiente com uma lâmpada de vapor de mercúrio de média pressão (400 W, comercial), na qual foi retirada o vidro externo, deixando o bulbo interior de quartzo. Assim, os filmes poliméricos foram irradiadas por um tempo de 30 min, a fim de provocar uma reação química na interface polímero/composto, de modo a fixá-lo de forma covalente.

Todos os filmes foram lavados por meio de lixiviação com isopropanol, a fim de remover compostos que não estivessem ligadas quimicamente da superfície do polímero. Após este processo, os filmes foram levados para o dessecador para a posterior caracterização da superfície

### 2.4 Caracterização

A caracterização tanto dos materiais de partida, produtos de síntese, quanto do polímero superficialmente modificado se deu através das técnicas espectroscópicas e microscopia. Dentre as análises espectroscópicas, os novos materiais foram analisados pela Espectroscopia Eletrônica UV-VIS, para determinação do comportamento de diferentes grupos das moléculas pela diferenciada radiação UV incidida. A Espectroscopia Vibracional no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) foi outra técnica empregada, possibilitando a identificação dos grupos funcionais e os tipos de ligações predominantes, pela geração dos espectros FT-IR. A técnica de espectroscopia de fluorescência também foi empregada na caracterização dos novos materiais, com a qual foi obtido espectros contendo regiões características de fluorescência devido aos grupos fluoróforos presentes na estrutura das moléculas.

As análises microscópicas foram realizadas pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) que utiliza feixes de elétrons para explorar a superfície da amostra sendo um dos instrumentos mais versáteis disponíveis para a observação e análise das características microestruturais de materiais sólidos dos novos materiais.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Caracterização da superficie polimérica funcionalizada

O azo composto sintetizado foi caracterizado através da espectroscopia FTIR, a fim de confirmar sua estrutura química. De acordo com o resultado obtido, foi possível confirmar a estrutura química do azo composto sintetizado, o qual está de acordo com o espectro obtido por "Adnan *et al.*, 2015". A Fig. 2 mostra o espectro FTIR obtido para o

ácido 4-(4-hidroxifenilazo)benzoico, com destaque para bandas em 1666, 1589 e 1469 $cm^{-1}$, que é característico de C=O, C=C e N=N, respectivamente.

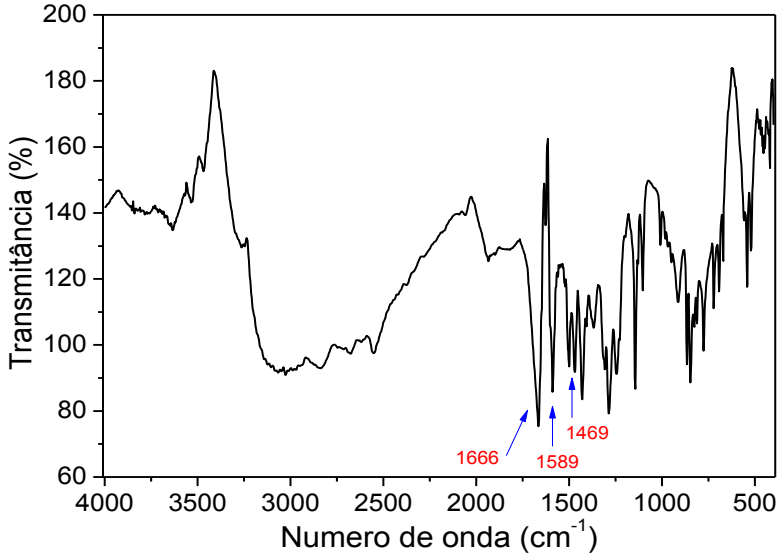



Figura 2. Espectro de FTIR para o ácido 4-(4-hidroxifenilazo)benzoico.

Após a modificação da superfície do polímero com o azo composto sintetizado, novas caracterizações foram realizadas, a fim de confirmar eficiência do processo de funcionalização. Sendo assim, para essa avaliação foi utilizada a técnica de FTIR, conforme os espectros apresentados na Fig. 3, na qual é possível perceber uma sutil mudança entre os filmes com e sem a modificação superficial, com destaque principalmente para uma mudança de intensidade ou deslocamento de algumas bandas. Com relação a banda de N=N em 1469 $cm^{-1}$, que é que característico do azo compostos e se mostrou presente no espectro da Fig. 1, aparece em baixa intensidade no espectro do filme + azo composto da Fig. 3, uma vez que trata-se de uma análise de superfície e isso justifica a pequena diferença entre ambos os espectros de filmes de PET.

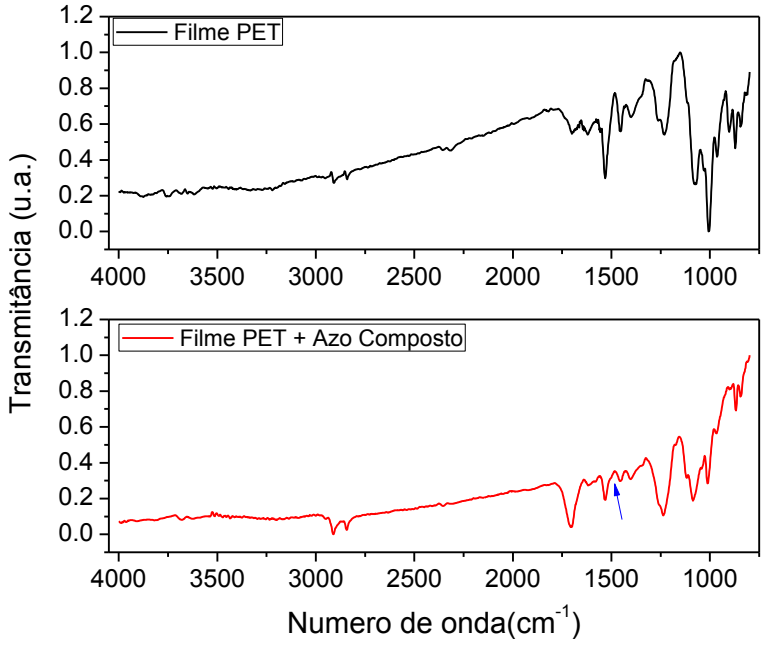



Figura 3. Infravermelhos do PET antes e após ser exertado com o azo composto sintetizado.

Outra análise também realizada foi a espectroscopia UV-VIS, para qual obteve-se espectros de absorvâncias que também apresentaram diferença entre os filmes com e sem a modificação superficial. Os espectros de UV-VIS estão apresentados na Fig. 4.

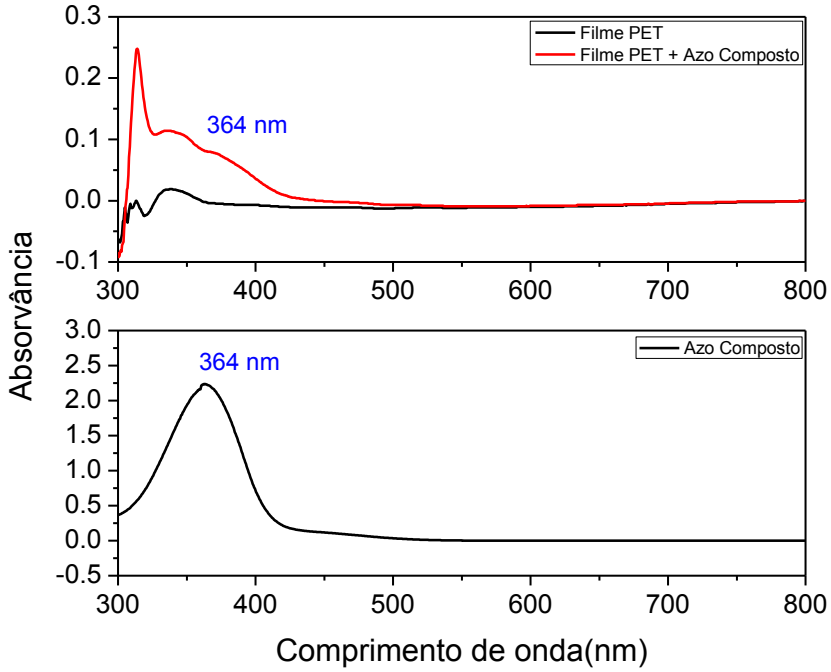
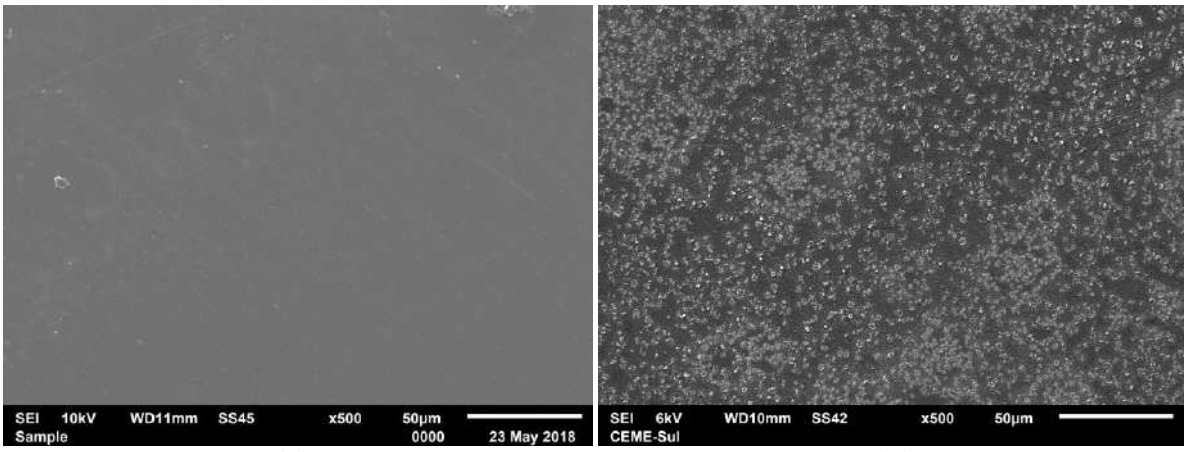



Figura 4. Espectro de absorvância no UV-VIS para o filme PET antes e após ser exertado com o azo composto.

Essa análise espectroscópica mostra que há uma efetiva modificação da superfície polimérica, uma vez que em 364 nm, que foi o comprimento de onda que apresentou maior intensidade de absorvância para o azo composto, foi observado um banda de absorção no filme PET funcionalizado. Esse máximo de absorção próximo a 350 nm também foi observado por "Cinar *et al.*, 2013" na caracterização do ácido 2-(4-hidroxifenilazo)benzoico, que trata-se de uma molécula com uma estrutura muito semelhante à descrita no presente trabalho.

A funcionalização da superfície de PET pode ainda ser confirmado com análises utilizando MEV, com a qual foi possível perceber a deposição de cristais na superfície do filme polimérico, conforme apresentadas na Fig. 5.




(A) (B)

Figura 5. Imagens de MEV do filme PET (A) e após ser enxertado com o azo composto sintetizado (B).

Características fluorescentes dos filmes poliméricos também foram avaliadas, conforme os espectros apresentados na Fig. 6 para o filme PET antes e após ser enxertado com o azo composto sintetizado. Através desses resultados (Fig. 6), percebe-se modificações expressivas nos sinais de fluorescência, principalmente nas regiões de 550 a 650 nm de emissão, comprovando mais uma vez a efetividade do método de funcionalização proposto no presente trabalho.

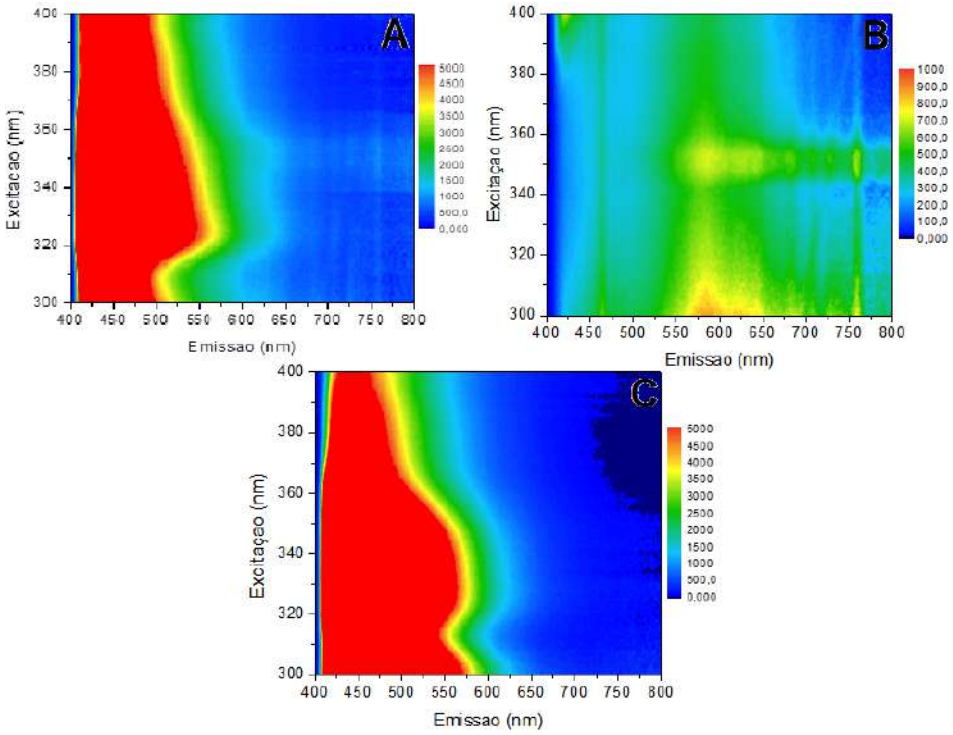



Figura 6. Espectros de fluorescência para filme PET (A), azo composto sintetizado (B) e filme polimérico funcionalizado (C).

Uma vez sabendo as regiões de fluorescência característica, esses filmes poliméricos de superfície funcionalizada podem ser submetidos a presença de diferentes analitos, tanto de caráter orgânico como inorgânico, avaliando a sua capacidade sensora com base na mudança do espectro de fluorescência. Assim, o desenvolvimento de FOD fluorescente a partir desse polímero superficialmente modificado se mostra promissor e em fase de execução.

## 4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que o método de funcionalização da superfície polimérica com emprego da radiação UV mostrou-se eficiente, uma vez que o azo compostos sintetizado foi enxertado na superfície do mesmo. Isso possibilita o desenvolvimento de novos estudos com uso desse método, variando o tipo de polímero e/ou composto químico a ser enxertado, obtendo-se assim filmes com diferentes características e aplicações.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo auxílio financeiro (processo de número 17/2551-0000901-0), bem como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica (CNPq) por bolsas concedidas. Os autores agradecem também ao Centro Integrado de Análise (CIA) e ao Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul (CEME-SUL), ambos da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

## 6. REFERÊNCIAS

Adnan, S., Mohammed, A.J., Thamer, H., 2015. “Synthesis and identification of some derivatives of 1,3,4-thiadiazole”. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, v. 7, p. 1000-1011.

Aleman, C., Fabregat, G., Armelin, E., Buendía, J.J. and Llorca, J., 2018. “Plasma surface modification of polymers for sensor applications”. *Journal of Materials Chemistry B*, v. 6, p. 6515-6533.

Aljamali, N.M., 2015. “Review in Azo Compounds and its Biological Activity”. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, v. 4, p. 1-4.

Amokrane, G., Falentin-Daudré, C., Ramtani, S. and Migonney, V., 2018. “A Simple Method to Functionalize PCL Surface by Grafting Bioactive Polymers Using UV Irradiation”. *IRBM*, v. 39, p. 268-278.

Awale, A.G., Gholse, S.B., Utale, P.S., 2013. "Synthesis, Spectral Properties and Applications of some Mordant and Disperse Mono Azo Dyes Derived from 2-amino-1,3-benzothiazole". *Research Journal of Chemistry Sciences*, v. 3, p. 81-87.

Bhattacharya, A. and Misra, B., 2004. "Grafting: a versatile means to modify polymers - Techniques, factors and applications". *Progress in Polymer Science*, v. 29, p. 767-814.

Chagas, G.R., Satyanarayana, V.S.V., Kessler, F., Belmonte, G.K., Gonsalves, K.E. and Weibel, D.E., 2015. "Selective Fragmentation of Radiation-Sensitive Novel Polymeric Resist Materials by Inner-Shell Irradiation". *ACS Applied Materials & Interfaces*, v. 7, p. 16348-16356.

Cinar, M., Yildiz, N., Karabacak, M., Kurt, M., 2013. "Determination of structural, spectrometric and nonlinear optical features of 2-(4-hydroxyphenylazo)benzoic acid by experimental techniques and quantum chemical calculations. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 105, p. 80–87.

Cong, H.P., Chen, J.F. and Yu, S.H., 2014. "Graphene-based macroscopic assemblies and architectures: an emerging material system". *Chemical Society Reviews*, v. 43, p. 7295-7325.

Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser – FEE, 2014. "Cenários RS 2030". Porto Alegre: FEE.

Goddard, J., and Hotchkiss, J., 2007. "Polymer surface modification for the attachment of bioactive compounds". *Progress in Polymer Science*, v. 32, p. 698-725.

Ha, M., Lim, S. and Ko, H., 2018. "Wearable and flexible sensors for user-interactive health-monitoring devices". *Journal of Materials Chemistry B*, v. 6, p. 4043-4064.

Han, S., Kim, B. and Park, J., 2015. "Surface modification of plastic substrates via corona-pretreatment and its effects on the properties of carbon nanotubes for use of flexible transparent electrodes". *Surface & Coatings Technology*, v. 271, p. 100-105.

He, D., Susanto, H. and Ulbricht, M., 2009. "Photo-irradiation for preparation, modification and stimulation of polymeric membranes". *Progress in Polymer Science*, v. 34, p. 62-98.

Hetemi, D. and Pinson, J., 2017. "Surface functionalisation of polymers". *Chemical Society Reviews*, v. 46, p. 5701-5713.

Jung, H.S., Kwon, P.S., Lee, J.W., Kim, J.I., Hong, C.S., Kim, J.W., Yan, S., Lee, J.H., Joo, T. and Kim, J.S., 2009. "Coumarin-Derived $Cu^{2+}$-Selective Fluorescence Sensor: Synthesis, Mechanisms, and Applications in Living Cells". *Journal of the American Chemical Society*, v. 131, p. 2008-2012.

Kessler, F., Kühn, S., Radtke, C. and Weibel, D.E., 2013. "Controlling the surface wettability of poly(sulfone) films by UV-assisted treatment: benefits in relation to plasma treatment". *Polymer International*, v. 62, p. 310-318.

Kessler, F., Muñoz, A.R., Phelan, C., Romani, E.C., Larrudé, D.R.G., Freire Júnior, F.L., de Souza, E.A.T., de Matos, C.J.S. and Fechine, J. M., 2018. "Direct dry transfer of CVD graphene to an optical substrate by in situ photo-polymerization". *Applied Surface Science*, v. 440, p. 55-60.

Kessler, F., Rocha, C.O.C., Medeiros, G.S. and Fechine, G.J.M., 2016. "Chemical vapor deposition graphene transfer process to a polymeric substrate assisted by a spin coater". *Materials Research Express*, v. 3, p. 1-8.

Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P. and Qiu, Y., 2006. "Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 90, p. 549-573.

Lichtman, J. and Conchello, J., 2005. "Fluorescence microscopy". *Nature Methods*, v. 2, p. 910-919.

Miro, P., Audiffred, M. and Heine, T., 2014. "An atlas of two-dimensional materials". *Chemical Society Reviews*, v. 43, p. 6537-6554.

Nemani, S.K., Annavarapu, R.K., Mohammadian, B., Raiyan, A., Heil, J., Haque, M.A., Abdelaal, A. and Sojoudi, H., 2018. "Surface Modification of Polymers: Methods and Applications". *Advanced Materials Interfaces*, v. 5, p.1-26.

Ng, L., Ahmad, A. and Mohammad, A., 2017. "Alteration of polyethersulphone membranes through UV-induced modification using various materials: A brief review". *Arabian Journal of Chemistry*, v. 10, p. S1821-S1834.

Oehr, C., 2003. "Plasma surface modification of polymers for biomedical use". *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions With Materials and Atoms*, v. 208, p. 40-47.

Popelka, A., Khanam, P. and Almaadeed, M., 2018. "Surface modification of polyethylene/graphene composite using corona discharge". *Journal of Physics D-Applied Physics*, v. 51, p.1-11.

Ptaszkowska-Koniarz, M., Goscianska, J., Pietrzak, R., 2017. "Adsorption of dyes on the surface of polymer nanocomposites modified with methylamine and copper(II) chloride". *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 504, p. 549–560.

Rogers, P. and Semancik, S., 2012. "Development of optimization procedures for application-specific chemical sensing". *Sensors and Actuators B-Chemical*, v. 163, p. 8-19.

Roy, M., Roy, S., Singh, K.S., Kalita, J., Singh, S.S., 2016. "Synthesis, characterisation and anti-diabetic activities of triorganotin(IV) azo-carboxylates derived from amino benzoic acids and resorcinol: Crystal structure and topological study of a 48 membered macrocyclictetrameric trimethyltin(IV) complex". *Inorganica Chimica Acta*, v. 439, p. 164-172.

Shirota, Y. and Kageyama, H., 2007. "Charge Carrier Transporting Molecular Materials and Their Applications in Devices". *Chemical Reviews*, v. 107, p. 953-1010.

Sundriyal, S., Kaur, H., Bhardwaj, S.K., Mishra, S., Kim, K. and Deep, A., 2018. "Metal-organic frameworks and their composites as efficient electrodes for supercapacitor applications". *Coordination Chemistry Reviews*, v. 369, p. 15-38.

Tamai, T., Watanabe, M., Kobayashi, Y., Kobata, J., Nakahara, Y. and Yajima, S., 2019. "Surface modification of polyethylene naphthalate substrates by ultraviolet light-irradiation and assembling multilayers and their application in electroless deposition: The chemical and physical properties of the stratified structure". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 575, p. 230-236.

Upadhyaya, L., Qian, X. and Wickramasinghe, S., 2018. "Chemical modification of membrane surface-overview". *Current Opinion in Chemical Engineering*, v. 20, p. 13-18.

Vergara, A. and Llobet, E., 2012. "Sensor selection and chemo-sensory optimization: toward an adaptable chemo-sensory system". *Frontiers in neuroengineering*, v. 4, p. 1-21.

Wang, B., Huang, W., Chi, L., Al-Hashimi, M., Marks, T.J. and Facchetti, A., 2018. "High-k Gate Dielectrics for Emerging Flexible and Stretchable Electronics". *Chemical Reviews*, v. 118, p. 5690-5754.

Wang, X. and Shi, G., 2015. "Flexible graphene devices related to energy conversion and storage". *Energy & Environmental Science*, v. 8, p. 790-823.

Yi, S.M., Choi, I.S., Kim, B.J. and Joo, Y.C., 2018. "Reliability Issues and Solutions in Flexible Electronics Under Mechanical Fatigue". *Electronic Materials Letters*, v. 14, p. 387-404.

Yoshida, S., Hagiwara, K., Hasebe, T. and Hotta, A., 2013. "Surface modification of polymers by plasma treatments for the enhancement of biocompatibility and controlled drug release". *Surface & Coatings Technology*, v. 233, p. 99-107.

Zhang, H., Zhao, W., Zou, M., Wang, Y., Chen, Y., Xu, L., Wu, H. and Cao, A., 2018. "3D, Mutually Embedded MOF@Carbon Nanotube Hybrid Networks for High-Performance Lithium-Sulfur Batteries". *Advanced Energy Materials*, v. 8, p. 1-11.

Zimmermann-Dimer, L.M. and Machado, V.G., 2008. "Quimiossensores cromogênicos e fluorogênicos para a detecção de analitos aniônicos". Química Nova, v. 31, p. 2134-2146.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA E CARACTERIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DE CALCÁRIO

**Cristieli Follador Farina**[1]
cris_farina@hotmail.com

**Eunice Valduga**[1]
veunice@uricer.edu.br

**Fernanda Baldus**[1]
baldusfe@gmail.com

**Júlia Faccio Demoliner**[1]
demolinerjulia@gmail.com

**Juliana Steffens**[1]
julisteffens@uricer.edu.br

**Maria Eduarda Wlodarkievicz**[1]
mw_eduarda@hotmail.com

**Paloma Truccolo Reato**[1]
palomareato@gmail.com

[1]Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Avenida Sete de Setembro, 1621 – CEP 99709-910 – Erechim – Rio Grande do Sul – Brasil.

**Resumo:** *O objetivo deste trabalho foi realizar a análise granulométrica, definir um modelo matemático de distribuição granulométrica e caracterizar as partículas de calcário e em termos de minerais totais, componentes minerais (Ca, Fe e K), densidade dos sólidos irregulares, umidade e índices de cor (L*, a*, b*, C* e $h_{ab}$). A amostra de calcário foi peneirada utilizando peneiras da série Tyler com mesh de 09, 16, 20, 32, 35, 42, 60, 80 e 115 e avaliou-se a distribuição granulométrica e diâmetros médios. O maior percentual de massa retida (50%) correspondeu a faixa de diâmetro médio entre 0,32 e 0,7 mm. Os diâmetros médios de Sauter, volumétrico e de área superficial das partículas foram de 0,635, 0,287 e 0,248 mm, respectivamente. O modelo que melhor (0,9492) representou os dados experimentais foi o de Rosin-Rammler-Bennet. O teor de umidade não foi afetado pela granulometria das partículas, com teores de aproximadmente 1%. Após os processos de carbonização, calcinação e dessecação, que 56% das partículas são de resíduo minerais inorgânicos, sendo que aproximadamente 36% corresponde ao Ca e 0,062 % de K e 0,023 % de Fe. Também, conlui-se que a cromaticidade e o ângulo de matriz aumentaram conforme diminuía a granulometria das partículas.*

***Palavras chave:*** *Calcário, granulometria, sólidos irregulares e peneiramento.*

## 1. INTRODUÇÃO

O peneiramento é uma técnica de classificação de partículas por tamanho extremamente antiga. Os primeiros registros encontrados em relação a esse processo são datados em 150 a.C. e, até hoje, é aplicado com muita eficiência em vários segmentos e áreas da indústria (Sampaio e Silva, 2010). Consiste na separação de um material não coeso de acordo com os seus tamanhos de partícula, utilizando como barreira mecânica uma ou mais superfícies vazadas com aberturas de dimensões definidas (Luz e Carvalho, 2005). Embora parâmetros como densidade e forma das partículas influenciem significativamente, o tamanho da partícula ainda é mais relevante na classificação por tamanho (Sampaio e Silva, 2010).

Na área mineral, o peneiramento é aplicado em praticamente todos os âmbitos, principalmente na separação por tamanho, na deslamagem, na concentração e em outras combinações dessas aplicações. É um processo determinante, pois resulta em uma das características essenciais do produto final e facilita as etapas subsequentes do processamento (Sampaio e Silva, 2010). O peneiramento de um material permite realizar a sua análise granulométrica,

ou seja, determinar o tamanho das partículas e a frequência com que ocorrem em uma determinada faixa de granulometria. Existem diversas formas de realizar esse estudo e a escolha do mais adequado depende do tipo de material, dos objetivos finais e do tamanho das partículas (Lima e Luz, 2001).

Um dos minerais mais abundantes do solo é o calcário, uma rocha sedimentar carbonatada que pode ser encontrada em todos os continentes. As reservas desse tipo de rocha são intermináveis, porém menos de 10% do extraído apresenta elevada pureza. No cotidiano, é corriqueiro o uso de produtos que apresentam carbonato de cálcio em sua composição, como: materiais de construção civil, alimentos, vidros, papeis, plástico, tintas, cerâmicas, entre outros (Sampaio e Almeida, 2005).

Outra aplicação importante do calcário é na agricultura, pois a sua inserção no solo aumenta a fertilidade do mesmo e, consequentemente, eleva o rendimento das culturas em regiões onde o solo é ácido e deficiente em fósforo. A aplicação de calcário aumenta os teores de cálcio e magnésio, das cargas negativas do solo e diminui o alumínio trocável, provocando alterações nas características físicas do solo (Albuquerque *et al.*, 2003).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise granulométrica do calcário, bem como estudar a quantidade de cinzas totais e componentes minerais, a densidade de sólidos irregulares e a determinação da cor das frações separadas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Preparo das Amostras

O calcário utilizado no presente estudo foi cedido pela Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI. O material já estava nas condições ideais para o início dos procedimentos, considerando que o mineral já estava moído e com baixa umidade.

Foi pesado em balança analítica 300g do produto que foi utilizado como amostra para os experimentos. Foram realizadas análises granulométricas, umidade, sólidos totais, densidade, índice de cor (L*, a*, b*, C* e $h_{ab}$)minerais totais e teores de Ca, K e Fe nas frações.. Os experimentos realizados estão descritos a seguir.

### 2.2. Análise Granulométrica

Através da análise granulométrica é realizada a determinação das dimensões das partículas que constituem uma amostra. Para o desenvolvimento do presente estudo foi utilizado nove *tamis* Série Tyler com diferentes números de abertura por polegada, também chamado de *mesh*, sendo eles a 09, 16, 20, 32, 35, 42, 60, 80 e 115. As peneiras foram sobrepostas de forma decrescente, sendo que o maior *mesh* ficou na parte inferior e o menor na parte superior.

Para dar início ao procedimento, a amostra fragmentada e com o peso quantificado foi adicionada ao último *tamis*. As peneiras foram submetidas a uma agitação manual até o momento em que, através de uma análise visual do equipamento, todo o material já estivesse sido peneirado de forma adequada.

Com os valores obtidos, foi realizado os cálculos e plotagens de gráficos com o auxílio do software Microsoft Office Excel. Dessa forma, obteve-se o percentual retido e a fração cumulada para cada *tamis* e caracterizou-se a distribuição granulométrica da amostra através de histogramas. Para determinar os diâmetros médios aritméticos, de Sauter, volumétrico e da área superficial utilizou-se as Eq. 01, 02, 03 e 04 respectivamente.

$$D_i = \frac{\sum D}{\sum i} \tag{01}$$

Onde: $D_i$ é o diâmetro aritmético; D é o diâmetro médio entre a malha anterior e a malha em que ficou retido; i é número de peneiras do sistema.

$$d_{ps} = \frac{1}{\sum\left(\frac{x_i}{D_i}\right)} \tag{02}$$

Onde: $d_{ps}$ é o diâmetro de Sauter; $x_i$ é a fração retida no *tami*; $D_i$ é o diâmetro médio entre a malha anterior e a malha em que ficou retido.

$$d_{ps}^3 = \frac{1}{\sum\left(\frac{x_i}{D_i^3}\right)} \tag{03}$$

Onde: $d_{ps}^3$ é o diâmetro volumétrico; $x_i$ é a fração retida no *tami*; $D_i$ é o diâmetro médio entre a malha anterior e a malha em que ficou retido.

$$d_{ps}^2 = \frac{\sum\left(\frac{x_i}{D_i}\right)}{\sum\left(\frac{x_i}{D_i^3}\right)} \tag{04}$$

Onde: $d_{ps}^2$ é o diâmetro de área superficial; $x_i$ é a fração retida no *tami*; $D_i$ é o diâmetro médio entre a malha anterior e a malha em que ficou retido.

Com os resultados obtidos referentes aos diâmetros, as quantidades retidas e as frações cumuladas foram determinadas os modelos matemáticos Gates-Gaudin-Schukman (GGS) e Rosin-Rammler-Bennet (RRB). Para isto, foi realizada a linearização da Equação 05 obtendo-se o gráfico do logaritmo natural da fração cumulada pelo logaritmo natural do diâmetro médio. Com a equação da reta originada, obteve-se os valores necessário para substituir na Equação 05 e resultar no modelo GGS. Da mesma forma foi realizada a linearização da Eq. 05, originando o gráfico *ln [(ln 1/(1-X)] x ln ($d_i$)*. Os valores obtidos de coeficiente angular e coeficiente linear da equação da reta originada foram substituídos na Eq. 06 e determinou-se o modelo RRB.

$$X = \left(\frac{D}{K}\right)^{m}, sendo\ K = \exp\left(\frac{-b}{m}\right) \quad (05)$$

Onde: X é a fração de sólidos que passam; D é o diâmetro da partícula; K é o número máximo das partículas; m é o coeficiente angular da reta; b é o coeficiente linear da reta.

$$X = 1 - exp\left[-\left(\frac{d_i}{d'}\right)^{n}\right], sendo\ d' = \exp\left(\frac{-b}{n}\right) \quad (06)$$

Onde: X é a fração de sólidos que passam; $d_i$ é o diâmetro de cada partícula; d' é o diâmetro máximo da partícula; n é o coeficiente angular da reta; b é o coeficiente linear da reta.

**2.3. Análise da umidade e sólidos totais**

Para realizar a determinação da umidade da amostra, utilizou-se o método de secagem do material por radiação infravermelha, marca Marconi, modelo Marte ID200, sendo um procedimento mais efetivo e com tempo extremamente reduzido por ocorrer a penetração do calor dentro da amostra. O processo ocorre através de um equipamento que possui uma lâmpada com 250 a 500 watts, a qual emite a radiação que chega a temperaturas próximas a 700 ºC e acaba por desidratar o material analisado. Além disso, possui uma balança acoplada e realiza a leitura direta do conteúdo da umidade através da diferença de peso.

Para realizar o procedimento, adicionou-se em torno de 3 g de amostra no equipamento e aguardou-se até o momento em que o valor da umidade estivesse pronto. Foi analisada, em triplicata, as nove frações de calcário resultantes do procedimento de distribuição granulométrica. Com os resultados obtidos, foi calculado com a Eq. 07 a quantidade de sólidos totais de cada amostra.

$$S = 100 - U \quad (07)$$

Onde: S é a quantidade de sólidos totais, em porcentagem; U é a umidade, em porcentagem.

**2.4. Análise de mineral total e componentes minerais**

Para determinar a quantidade de cinza total no calcário estudado, primeiramente foi colocado nove cadinhos de porcelana em um forno mufla da marca Lavoisier, modelo 400C, por trinta minutos à 550 ºC, para que qualquer resquício de água presente secasse e não interferisse nos resultados finais. Os pesos após essa etapa foram quantificados e anotados. Após atingir a temperatura ambiente, adicionou-se em cada cadinho 3 g de uma fração granulométrica diferente do material e realizou-se a carbonização do produto em uma chapa de aquecimento. Os cadinhos foram, então, colocados novamente no forno mufla na mesma temperatura por 6 horas. Dessa forma, resultaram as cinzas claras da amostra decorrente do processo de calcinação. Por fim realizou-se a dessecação do calcário e quantificou-se o peso final. Com os valores obtidos do experimento, utilizou-se a Eq. 08 para calcular o valor do resíduo mineral fixo da amostra.

$$R_{mf} = \frac{\left(P_f - P_0\right) x\ 100}{P_a} \quad (08)$$

Onde: $R_{mf}$ é resíduo mineral fixo da amostra, em porcentagem; $P_f$ é o peso final do cadinho, após a incineração, em gramas; $P_0$ é o peso inicial do cadinho vazio, em gramas; $P_a$ o peso da amostra, em gramas.

A partir dos resíduos inorgânicos do processo de incineração e dessecação, foram determinadas as quantidades de potássio, ferro e cálcio da amostra estudada. Inicialmente realizou-se a diluição das cinzas com ácido nítrico 1 M e a filtração em um balão volumétrico de 100 mL. Quando necessário, foram realizadas sucessivas diluições, com o mesmo solvente, de 1 mL da amostra em balões volumétricos de 10 mL até atingir a concentração ideal para prosseguir com os experimentos. A quantificação dos minerais foi realizada pelo método da espectrometria de absorção atômica em chama - FAAS (Varian Spectra AA-55), segundo metodologia descrita por AOAC (1995). Os elementos analisados foram o potássio, ferro e cálcio, utilizando uma lâmpada de cátodo oco como fonte de radiação e acetileno como gás oxidante. O comprimento de onda que cada elemento absorve é, respectivamente, 404,4 nm, 248 nm e 422,7 nm, e a intensidade da lâmpada utilizada para o cálcio foi 10 mA e para o potássio e ferro 5 mA.Para a realização dos cálculos dos teores de minerais nas amostras, construiu-se, primeiramente, uma curva padrão de absorção de cada elemento. A partir da equação de reta originada, obtêm-se a quantidade de elemento em mg/L na amostra de acordo com o valor de absorbância de cada uma, conforme demonstrado na Eq. 09. Por fim, para determinar o resultado da quantia de cada

elemento na amostra de calcário analisada, realizaram-se sucessivos cálculos de diluição e proporção para chegar ao valor final. Sendo que para o potássio todas as diluições foram em 100 mL de ácido nítrico. Já para o ferro, até a amostra número 5 foi realizada a diluição em 100 mL, para as restantes, pegou-se 1 mL dessa primeira solução e dissolveu-se em 10 mL. E para o cálcio, realizou-se a filtração da amostra em 100 mL e pegou-se 1 mL de cada para realizar uma diluição em 1000 mL. Por fim, foi determinada uma proporção para se obter o valor, em mg, do elemento em 100 g da amostra de calcário.

$$y = ax + b \quad (09)$$

Onde: y é absorbância da amostra, em U.A.; a é o coeficiente angular da reta; x é a concentração do elemento analisado na amostra, em mg/L; b é o coeficiente linear da reta.

### 2.5. Determinação de índices de cor (L*, a*, b*, C* e $h_{ab}$)

Para realizar a determinação da cor das amostras de calcários com diferentes granulometrias, foi utilizado o colorímetro Minolta CR-400 conforme o sistema CIE Lab. Esse sistema também é conhecido como espaço de cor L*a*b* e é o mais utilizado na atualidade para avaliar as cores, estabelecendo coordenadas uniformes no espaço tridimensional de cor. O instrumento portátil e de fácil manuseio é primeiramente calibrado, conforme procedimento padrão, e então realizada a leitura das amostras. A análise é feita em triplicata e, com os valores médios de L*a*b* obtidos, calcula-se a cromaticidade da amostra pela Eq. 10 e o ângulo de matiz pela Eq. 11. Com os resultados pode-se encontrar a posição exata de cada amostra no diagrama de cromaticidade do espaço de cor.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (10)$$

Onde: C* é a cromaticidade; a* é a média dos valores lidos no colorímetro; b* é a médio dos valores lidos no colorímetro.

$$h_{ab} = tan^{-1}\left\{\frac{b^*}{a^*}\right\} \quad (11)$$

Onde: $h_{ab}$ é o ângulo de matiz; a* é a média dos valores lidos no colorímetro; b* é a médio dos valores lidos no colorímetro.

### 2.6. Densidade de sólidos irregulares

A densidade de sólidos irregulares presentes em cada uma das nove amostras resultantes da distribuição granulométrica pode ser determinada por uma diferença de volume. Para a realização do experimento foram pesadas pequenas quantidades de cada amostra de calcário em béqueres. Os valores foram diferentes pelo fato de, em algumas frações, não terem sobrado o suficiente para ter-se um peso padrão. Utilizou-se, então, nove provetas graduadas com água destilada até a marca de 60 mL. Foi adicionado, em cada uma das provetas, uma das amostras pesadas inicialmente. Em seguida anotou-se os valores de volume final de cada mistura e realizou-se os cálculos com a Eq. 12 para determinar a densidade.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (12)$$

Onde: p é a densidade de sólidos irregulares, em g/mL; m é a quantidade de amostra adicionada, em g; V é o volume deslocado pela amostra, em mL.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer das análises realizadas na amostra de calcário foram obtidos resultados referentes as características físico químicas do mineral. Os valores e informações obtidas serão apresentados e discutidos nessa seção e, quando possível, comparados com os valores da literatura para o material.

Com o estudo da distribuição granulométrica da amostra, obteve-se o peso retido do material em cada peneira, possibilitando a realização do cálculo para determinar a fração que passou por cada *tamis*. Os valores referentes ao *mesh*, peso e percentual retido e do peso que passou estão descritos na Tab. 01.

Tabela 01. Peso e percentuais do material retido e cumulado em casa *tamis* decorrente do peneiramento do calcário.

| Amostra | Mesh | -Di | +Di | Dm (mm) | Peso Retido (g) | xi (% retido) | Xi (% passa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -9 +16 | 2,19 | 1,19 | 1,69 | 11,070 | 3,703 | 96,297 |
| 2 | -16 +20 | 1,19 | 0,84 | 1,02 | 12,169 | 4,071 | 92,226 |
| 3 | -20 +32 | 0,84 | 0,56 | 0,70 | 64,061 | 21,430 | 70,796 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | -32 +35 | 0,56 | 0,50 | 0,53 | 37,998 | 12,711 | 58,085 |
| 5 | -35 +42 | 0,50 | 0,39 | 0,45 | 11,765 | 3,936 | 54,149 |
| 6 | -42 +60 | 0,39 | 0,25 | 0,32 | 104,782 | 35,052 | 19,098 |
| 7 | -60 +80 | 0,25 | 0,18 | 0,21 | 13,765 | 4,605 | 14,493 |
| 8 | -80 +115 | 0,18 | 0,13 | 0,15 | 27,339 | 9,145 | 5,347 |
| 9 | -115 | Fundo | Fundo | Fundo | 15,985 | 5,347 | 0 |
| | | | **Total** | | **298,934** | **100** | **-** |

A partir dos resultados obtidos do peneiramento foram plotados os gráficos de distribuição de frequência e acumulada para analisar o comportamento granulométrico do material. A Fig. 01 apresenta a curva da fração retida do material pelo diâmetro médio da peneira. Ao analisar o comportamento da mesma, percebe-se que o maior percentual de massa retida foi em torno de 35% ocorrendo entre os *meshes* 42 e 60, resultando em um diâmetro médio igual a 0,32 mm. Ao analisar a curva obtida da relação da porcentagem de amostra cumulada pelo diâmetro médio de cada *tamis*, apresentada na Fig. 02, verifica-se que 50% das partículas são maiores que 0,432 mm.

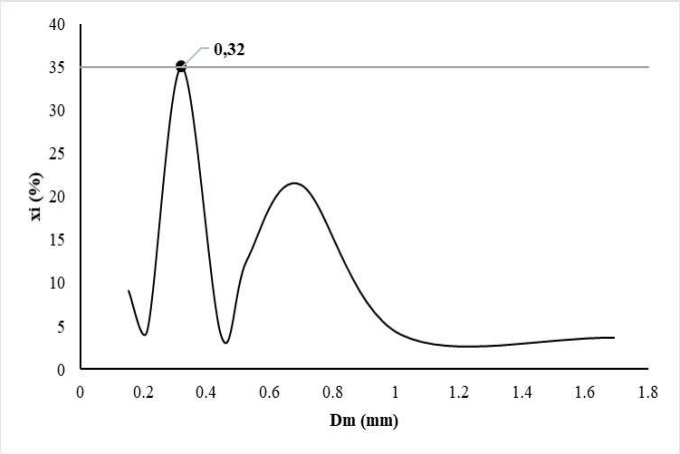



Figura 01. Curva originada pela relação da fração de amostra retida, em percentual, pelo diâmetro médio, em mm.

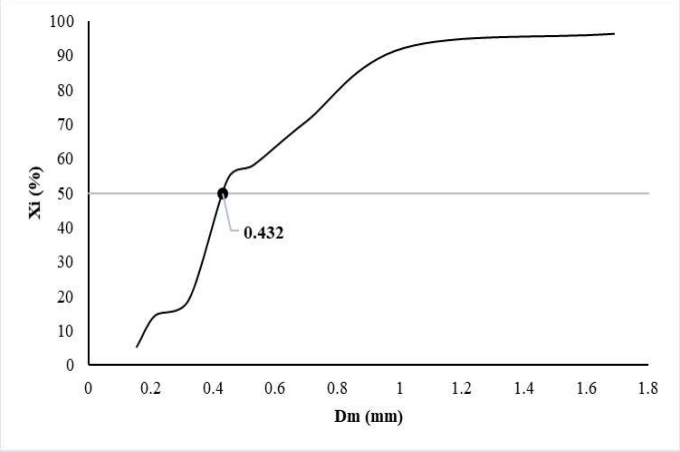



Figura 02. Curva resultante da relação de percentual de amostra cumulada pelo diâmetro médio, em mm.

Para determinar os valores dos diâmetros das partículas da amostra do estudo foram utilizadas as Eq. 01, 02, 03 e 04. Primeiramente, para a realização dos cálculos, é necessário determinar os valores da razão entre a fração retida e o diâmetro de cada *tamis*, da mesmo forma que o somatório dos resultados. Além disso, também é requerido o quociente entre a parte de material retido pelo diâmetro médio de cada peneira ao cubo, assim como o total resultante. A Tab. 02 apresenta esses valores e a Tab. 03 os diâmetros médios das partículas da amostra.

Tabela 02. Resultados das divisões entre a fração de amostra retida pelos diâmetros médios.

| Amostra | Mesh | Dm (mm) | xi | xi/Dm | xi/Dm³ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -9 +16 | 1,69 | 0,037 | 0,022 | 0,008 |
| 2 | -16 +20 | 1,02 | 0,041 | 0,040 | 0,039 |
| 3 | -20 +32 | 0,7 | 0,214 | 0,307 | 0,627 |
| 4 | -32 +35 | 0,53 | 0,127 | 0,241 | 0,861 |
| 5 | -35 +42 | 0,45 | 0,039 | 0,088 | 0,441 |
| 6 | -42 +60 | 0,32 | 0,351 | 1,089 | 10,518 |
| 7 | -60 +80 | 0,21 | 0,046 | 0,216 | 4,732 |
| 8 | -80 +115 | 0,15 | 0,091 | 0,594 | 25,041 |
| 9 | -115 | Fundo | 0,053 | Fundo | Fundo |
| | | **Total** | | **2,596** | **42,267** |

Tabela 03. Valores dos diâmetros médios aritmético, de Sauter, volumétrico e da área superficial.

| Di (mm) | dps (mm) | dps³ (mm) | dps² (mm) |
|---|---|---|---|
| 0,634 | 0,385 | 0,287 | 0,248 |

A partir dos resultados obtidos do diâmetro e das quantidades retidas e que passou cada peneira, foram plotados os gráficos para obter os modelos matemáticos. A Fig. 03 apresenta as curvas para a construção dos modelos matemáticos. O gráfico *a* foi construído a partir da linearização da Eq. 05 e apresenta os dados necessário para determinar o Modelo Gates-Gaudin-Schukman (GGS), descrito pela Equação 13. Por meio da linearização da Eq. 06 foi obtido o gráfico *b*, o qual apresenta o Modelo Rosin-Rammler-Bennet (RRB) representado pela Equação 14.

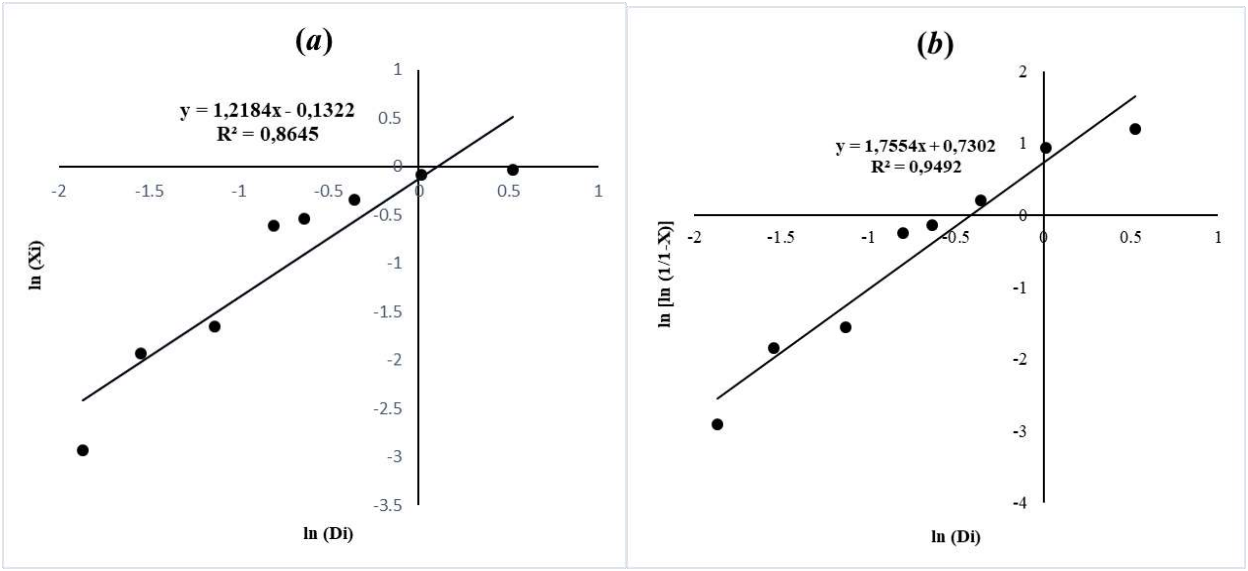



Figura 03: (*a*) Curva para obtenção do Modelo Gates-Gaudin-Schukman (GGS); (*b*) Curva para obtenção do Modelo Rosin-Rammler-Bennet (RRB).

$$X = \left(\frac{D}{1{,}115}\right)^{1{,}2184} \tag{13}$$

$$X = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d_i}{1{,}5158}\right)^{1{,}7554}\right] \tag{14}$$

As curvas plotadas nos levam a perceber que o valor do coeficiente de determinação, $R^2$, é mais próximo a 1 para o modelo matemático RRB. Dessa forma, o ajustamento linear realizado foi mais condizente para esse modelo. Assim, a Eq. 14 é mais próxima da realidade para descrever a distribuição granulométrica da amostra de calcário estudada.

Após a realização do procedimento de secagem por radiação infravermelha e os cálculos efetuados com as Eq. 07 e 08, quantificou-se a umidade de cada amostra assim como os respectivos valores de sólidos totais e de resíduo

mineral fixo. Foi realizada, também, a análise da densidade de sólidos irregulares das diferentes granulometrias do calcário utilizando a Eq. 12. A Tab. 4 apresenta esses dados para cada fração granulométrica.

Tabela 4. Valores da umidade, densidade de sólidos irregulares, sólidos totais e resíduo mineral fixo para cada amostra.

| Amostra | Umidade (%) | Densidade (g/mL) | Sólidos Totais (%) | Resíduo Mineral Fixo (%) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 1,05 | 0,90 | 98,95 | 44,58 |
| **2** | 1,00 | 2,80 | 99,00 | 42,90 |
| **3** | 1,20 | 2,00 | 98,80 | 44,44 |
| **4** | 1,00 | 1,50 | 99,00 | 44,23 |
| **5** | 0,95 | 2,50 | 99,05 | 45,48 |
| **6** | 1,00 | 3,00 | 99,00 | 43,42 |
| **7** | 1,00 | 1,50 | 99,00 | 42,28 |
| **8** | 0,75 | 1,30 | 99,25 | 43,81 |
| **9** | 1,00 | 1,30 | 99,00 | 44,17 |

Ao realizar o estudo dos resultados obtidos, percebe-se que a granulometria não interferiu diretamente nos valores da umidade, sendo que o valor encontrado foi em torno de 1% para todas as frações. Assim, pode-se considerar a quantidade de água presente uma característica relacionada à natureza do material. A amostra de número 8 foi a que apresentou o menor valor, 0,75%, a qual possui um diâmetro médio igual a 0,15 mm. Já a que resultou em uma maior porcentagem de umidade, 1,2%, foi a amostra número 3 que possuía um diâmetro médio em torno de 0,7 mm. E quanto aos sólidos totais, esses são inversamente proporcionais a umidade da amostra, quanto maior a quantidade de água, menor a de sólidos totais, sempre totalizando em 1 ou 100%.

Pela análise dos resultados da densidade, pode-se concluir que a amostra que continha maior quantidade de sólidos irregulares foi a de número 5, a qual possuía um diâmetro médio igual a 0,45 mm. Já a amostra de número 1 resultou em uma menor densidade, sendo que possuía um diâmetro médio igual a 1,69 mm.

Em relação a composição dos sólidos totais de cada amostra, observa-se que aproximadamente 45% correspondem a fração inorgânica das partículas. Por se tratar de um produto de uma rocha sedimentar, já era esperado que fosse encontrado uma porcentagem alta de minerais presentes no mesmo. Para realizar a quantificação de potássio, ferro e cálcio no resíduo mineral foi, primeiramente, construído uma curva padrão de cada elemento com os valores resultante da espectrometria de absorção atômica para as diferentes concentrações do composto. Dessa forma, obteve-se as equações de reta no formato da Eq. 09. A Fig. 04 apresenta as curvas originadas, sendo o gráfico *a* os resultados para o potássio na faixa de 0 a 150 mg/L, o gráfico *b* os valores obtidos da faixa de 0 a 4 mg/L para o ferro e o gráfico *c* as leituras realizadas para o cálcio para concentrações entre 0 a 50 mg/L.

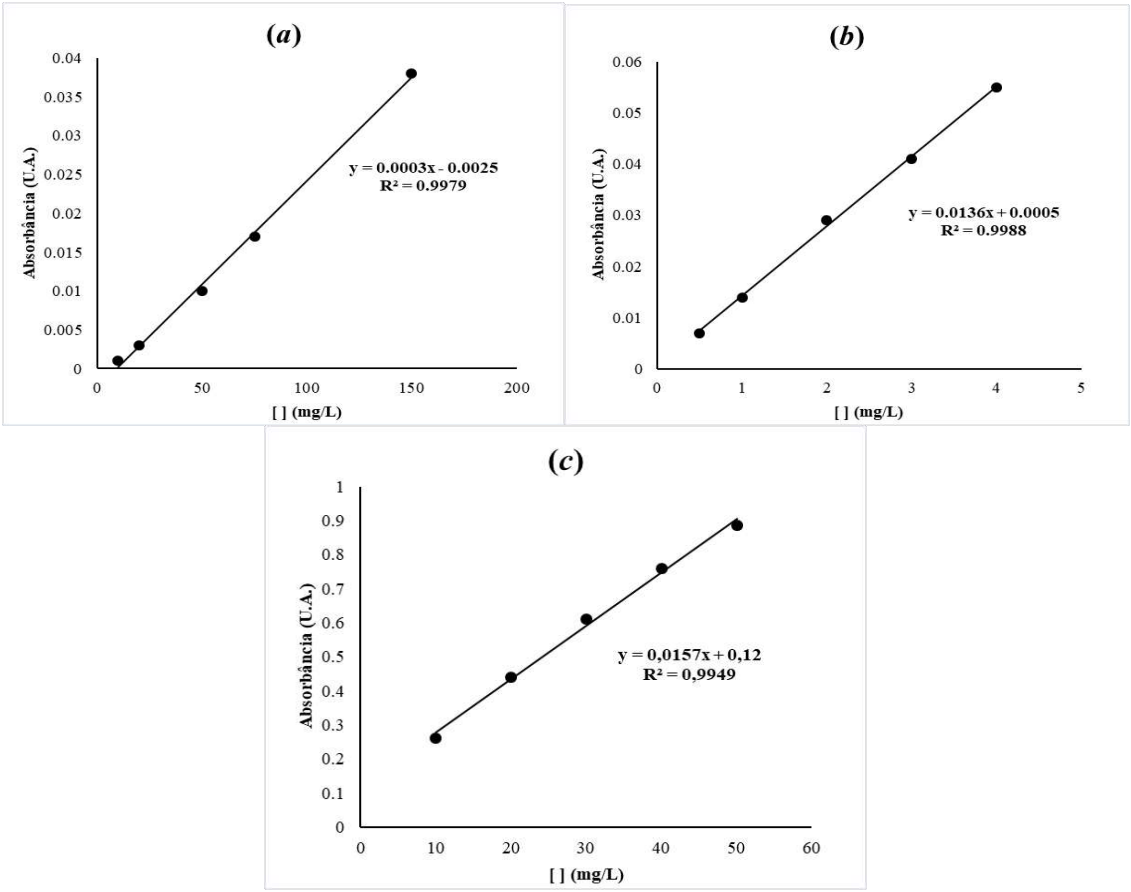



Figura 04. (*a*) curva padrão de absorção do potássio entre 0 mg/L até 150 mg/L; (*b*) curva padrão de absorção do ferro entre 0 mg/L até 4 mg/L; (*c*) curva padrão de absorção do cálcio entre 0 mg/L até 50 mg/L.

Com as equações de reta padrão definidas para cada componente mineral foi possível quantificar Ca, Fe e K para cada fração granulometrica do cálcario. A Tab. 05 apresenta todos os resultados descritos para o potássio, ferro e cálcio, respectivamente.

Tabela 05. Quantidade de potássio, ferro e cálcio em cada amostra de calcário analisada.

| Amostra | K (mg/100g de calcário) | Fe (mg/100g de calcário) | Ca (g/100g de amostra) |
|---|---|---|---|
| **1** | 71,23 | 16,15 | 36,03 |
| **2** | 59,95 | 17,97 | 37,11 |
| **3** | 61,07 | 17,34 | 36,12 |
| **4** | 71,79 | 16,76 | 36,25 |
| **5** | 60,87 | 4,44 | 35,43 |
| **6** | 49,72 | 32,18 | 36,78 |
| **7** | 70,85 | 31,75 | 37,52 |
| **8** | 49,90 | 34,72 | 36,52 |
| **9** | 60,75 | 39,42 | 36,29 |

Ao analisar os resultados obtidos, se conclui que em 100 g da amostra de calcário estudado tem-se 61,8 mg de potássio, 23,4 mg de ferro e 36 g de cálcio. O calcário é uma rocha que tem origem da sedimentação de materiais por agentes exógenos. Dessa forma, o composto que está presente em quantidades majoritárias é o cálcio. O elemento está presente no mineral na forma de calcita ($CaCO_3$) e após os processos de calcinação e dessecação, a parte orgânica acaba se desintegrando restando apenas o material inorgânico, o cálcio. Por isso os valores elevados encontrados para esse composto condizem com a natureza do calcário.

Entretanto, os valores obtidos para o ferro e o potássio não são considerados ideais para o mineral analisado. Os compostos de ferro no calcário são prejudiciais para a aplicação industrial e não irá produzir cal com alta pureza. Já o potássio, não implica em problemas na aplicação na rocha, apenas irá interferir na pureza dos produtos. Segundo

Sampaio e Almeida (2008), quando presente em pequenas proporções, essas impurezas são eliminadas durante o processo de calcinação.

Já se tratando a determinação da cor do calcário, a leitura das amostras com o colorímetro resultou nos valores de L*a*b* descritos na Tab. 07. Através desses, calculou-se os valores da cromaticidade de cada amostra pela Eq. 10 e do respectivo ângulo de matiz pela Eq. 11, também apresentados na Tab. 09.

Tabela 07. Valores de L*a*b* de cada amostra e dos resultados da cromaticidade, C*, e do ângulo de matiz, $h_{ab}$.

| Amostra | L* | a* | b* | C* | $h_{ab}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 59,31 | 2,09 | 3,65 | 4,21 | 60,20 |
| **2** | 61,04 | 2,16 | 4,07 | 4,61 | 62,10 |
| **3** | 64,83 | 2,73 | 4,67 | 5,41 | 59,70 |
| **4** | 66,34 | 2,61 | 5,02 | 5,66 | 62,48 |
| **5** | 61,61 | 2,47 | 4,97 | 5,55 | 63,59 |
| **6** | 68,82 | 2,58 | 6,14 | 6,66 | 67,22 |
| **7** | 63,99 | 2,62 | 6,22 | 6,75 | 67,17 |
| **8** | 79,28 | 3,16 | 9,41 | 9,92 | 71,45 |
| **9** | 74,87 | 2,86 | 8,76 | 9,21 | 71,89 |

Através dos resultados obtidos, a partir do colorímetro, identificou-se que a cromaticidade e o ângulo de matriz aumentaram conforme diminuía a granulometria das partículas.

Ao fim do experimento o material retido em cada peneira granulométrica foi repassado para Placas de Petri, conforme ilustrado na Fig. 05, e quantificado o peso de cada fração. Sendo que no primeiro *tamis*, por ter uma abertura muito grande, não ficou retido nenhum material e, ainda, uma parte da amostra passou por todas as peneiras e acabou por se acumular no fundo.




Figura 05. Frações da amostra retida em cada *tamis*.

## 4. CONCLUSÃO

A análise dos dados obtidos a partir da massa ensaiada demonstrou as características de granulometria e a partir disso foi possível verificar que o maior percentual de massa retida, 35%, estava entre os meshes 42 e 60, que possui diâmetro médio de 0,32 mm. A partir da curva da porcentagem de amostra acumulada pelo diâmetro médio de cada *tamis*, foi possível analisar que 50% das partículas são maiores que 0,432 mm.

Os modelos matemáticos são obtidos com o objetivo de tornar mais simples o projeto dos equipamentos de separação de partículas. Verificou-se que, para o modelo GGS, o coeficiente de determinação para a reta é igual a $R^2 = 0,8645$, enquanto que para os modelos RRB $R^2 = 0,9492$. Portanto, o modelo que melhor descreve a distribuição granulométrica da amostra de calcário estudada é o RRB, pois o valor do coeficiente de determinação foi mais próximo de 1.

Após a verificação da umidade, o valor encontrado foi de aproximadamente 1% para todas as frações. Pode-se concluir, então, que esta quantidade de água é uma característica do cálcario, indiferente de seu diâmetro.

Após os processos de carbonização, calcinação e dessecação, concluiu-se a partir da massa restante que, em média, 56% do material estudado são componentes inorgânicos, sendo que aproximadamente 36% corresponde ao Ca

e 0,062 % de K e 0,023 % de Fe. Além disso, conlui-se que a cromaticidade e o ângulo de matriz aumentaram conforme diminuía a granulometria das partículas.

## 5. REFERÊNCIAS

Albuquerque, J. A., Bayer C., Ernani, P. R., Mafra, A. L. e Fontana, E. C. 2003. "Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido". *R. Bras. Ci. Solo*, 27:799-806.

Sampaio, J. A. e Silva, F. A. N. G. 2007. "Analise Granulométrica Por Peneiramento", Tratamento De Minérios Práticas Laboratoriais. ed J. A. Sampaio, S. C. Franca, and P. F. A. Braga, (Rio de Janeiro, RJ, Brazil: Centro de Tecnologia Mineral), Cap 3, 55–74.

Lima, R. M. F. e Luz, J. A. M. 2001. "Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes". Rem: *Rev. Esc. Minas,* Ouro Preto, Vol. 54, n. 2, p. 155-159.

Luz, J. A. M. e Carvalho, S. C. 2005. "Modelamento matemático de peneiramento vibratório (Parte 1): dimensionamento clássico". *R. Esc. Minas*, Ouro Preto, 58(1): 57-60, jan. mar.

Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. 2008. "Calcário e dolomito" In: CETEM: Rochas e minerais industriais. Rio de Janeiro. p. 363-391.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

As autoras são as únicas responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA DE SÍNTESES DE PANI / HCL E NANOCOMPÓSITOS DE PANI – GO / HCL

**Adriana Marcia Graboski**
**Greice Ostrowski**
**Sandra Cristina Ballen**
**Juliana Steffens**
**Natália Paroul**
**Clarice Steffens**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI-Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim, RS.
e-mail: adigraboski@hotmail.com, greicemaria69@gmail.com, sandra-ballen@live.com, julisteffens@uricer.com.br, nparoul@uricer.edu.br, clarices@uricer.com.br

**Alessandro Henrique de Lima**
**Welber Gianini Quirino**
Grupo de Nanociência e Nanotecnologia da UFJF – (Nano), Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Bairro São Pedro, Juiz de Fora, MG.
e-mail: alessandrohlima@gmail.com, wgquirino@gmail.com

**Flávio Makoto Shimizu**
Instituto de Física São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schimidt, São Carlos, SP.
e-mail: flamakoto@yahoo.com.br

**Resumo:** Neste trabalho, foi investigada por meio da técnica de espectroscopia de ultravioleta visível (UV-Vis) as sínteses elaboradas com polianilina (PANI) dopada com HCl (PANI/HCl), os nanocompósitos formados por PANI e óxido de grafeno (GO) (PANI-GO/HCl) e o GO, sendo esta caracterização necessária para confirmação do estado dopado do polímero e formação dos nanocompósitos poliméricos. Primeiramente foram realizadas duas sínteses: uma contendo somente PANI dopada com ácido clorídrico (HCl) e outra contendo PANI-GO/HCl, estas sínteses foram submetidas a caracterização utilizando UV-Vis. Os espectros obtidos demostraram duas bandas características do estado dopado da PANI, uma em 445 nm e outra em 800 nm, já para o GO uma banda em 230 nm foi observado, sendo que para os nanocompósitos houve um deslocamento desta banda para números de onda de 245 nm, sendo também encontrada uma banda em 300 nm confirmando a interação da PANI com o GO e formação dos nanocompósitos. Esses resultados demonstram o potencial que estas síntese tem para uso como filmes sensitivos para aplicações em sensores de gases.

**Palavras chave:** *Caracterização, Polianilina, Nanocompósitos, Óxido de Grafeno, UV-Vis.*

## 1. INTRODUÇÃO

Polímeros condutores são materiais orgânicos que possuem como característica estrutural a conjugação de unidades monoméricas podendo sofrer redução ou oxidação. Estes polímeros insaturados possuem na cadeia polimérica elétrons que podem ser facilmente removidos ou adicionados. A oxidação ou redução da cadeia polimérica ocorre com adição de agentes aceptores ou doadores de elétrons, chamados de "dopantes" que transformam o polímero de isolante em condutor ou semicondutor, pois ocorre a transferência de cargas e a formação do íons gerando um fluxo de elétrons permitindo com que os elétrons possam se mover mais livremente entre os átomos (Medeiros *et al.*, 2012; Balint *et al.*, 2014). A dopagem é responsável por aumentar muitas vezes a condutividade do polímero, sendo, a mudança da estrutura da banda eletrônica do polímero condutor acompanhada por uma mudança das propriedades ópticas nas regiões ultravioleta e visível (Lange *et al.*, 2008; Medeiros *et al.*, 2012).

A polianilina (PANI) é um dos polímeros condutores que vêm sendo amplamente estudado, pois apresenta facilidade de polimerização e dopagem, boa estabilidade química ambiental, mecanismos estáveis de condução elétrica e baixo custo (Li *et al.*, 2013; Fratoddi *et al.*, 2015). Apesar da existência de cinco estados de oxidação da PANI, somente o estado parcialmente oxidado ou como é conhecido sal de esmeraldina após processo de dopagem passa a se

tornar condutora (condutividade >1 $S.cm^{-1}$), pois quando a mesma não passa pelo processo de dopagem sua condutividade é bem menor ( < $1x10^{-10}$ $S.cm^{-1}$), ou seja o sal de esmeraldina é o estado de oxidação em que a PANI, após dopagem, alcança os mais altos valores de condutividade elétrica (Fratoddi *et al.*, 2015).

Nos últimos anos os polímeros condutores vem sendo sintetizados juntamente com nanomateriais, podendo serem assim chamados de nanocompósitos. Sendo considerados materiais com propriedades melhoradas, como aumento da área superficial, aumento da condutividade elétrica e aumento da resistência mecânica se comparado a compostos poliméricos condutores convencionais (Awuzie, 2017; Yadav *et al.*, 2019). Um destes nanomateriais que vem sendo adicionados aos polímeros condutores são os à base de carbono, como o GO (PROMPHET et al., 2015). O GO vem sendo utilizado pois agregam nanocarga de reforço aos materiais, ele possui uma grande área superficial, boa compatibilidade química e condutividade elétrica, podendo melhorar muito as propriedades mecânicas e térmicas dos materiais poliméricos, além da possibilidade de ser produzido em larga escala com um baixo custo (MURALIKRISHNA et al., 2017; TANGUY; THOMPSON; YAN, 2018).

A síntese destes nanocompósitos poliméricos pode ser realizada via síntese química convencional (*in situ*) mais conhecida como polimerização *in situ*, onde é realizada pela mistura de uma solução contendo o monômero e o nanomaterial dissolvidos em uma solução contendo um ácido (ácido clorídrico, ácido canforsulfônico, ácido sulfúrico, ácido dodecilbenzenosulfônico, dentre outros) e uma outra solução contendo o agente oxidante (como por exemplo o persulfato de amônio), sendo que a polimerização é iniciada pela adição do agente oxidante sobre a solução contendo o monômero e o nanomaterial (PASCHOALIN et al., 2012). O resultado é a produção de um nanocompósito polimérico de alta massa molecular e de elevada pureza, que pode ser obtido em grande quantidade diretamente no estado dopado (Parmar *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2013; Andre *et al.*, 2017).

A caracterização destas sínteses se fazem necessários para confirmar a formação dos nanocompósitos de PANI – GO /HCl pelas bandas características que podem ser observadas na espectroscopia de ultravioleta visível (UV-Vis), confirmando a presença do estado dopado do polímero e as bandas destes materiais, podendo-se validar ou não a metodologia de obtenção dos nanocompósitos poliméricos.

Desta forma o objetivo do presente trabalho consistiu na elaboração de duas síntese de PANI dopada com ácido clorídrico (HCl), sendo utilizado em uma o GO para formação dos nanocompósitos de PANI-GO/HCl, sendo estas submetidas a caracterização utilizando UV-Vis.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Síntese de PANI/HCl utilizando a técnica de polimerização *in situ*

A síntese química da PANI/HCl utilizando a técnica de polimerização *in situ* no estado de oxidação esmeraldina foi realizada de acordo com Steffens et al. (2009), onde resumidamente o monômero anilina ($C_6H_5NH_2$) (Sigma Aldrich 99,5 %, Alemanha), foi oxidado utilizando persulfato de amônio (Sigma-Aldrich, 98 %, Alemanha), como dopante foi utilizado a solução de HCl (1M) (Sigma-Aldrich, Alemanha), obtendo-se assim a síntese de PANI dopada com HCl (PANI/HCl) no estado condutor sal esmeraldina. Para tanto utilizou-se uma quantidade de 198 µL de anilina previamente destilada a vácuo, diluída em 66 mL de HCl (1M) (Solução A) outra solução foi preparada utilizando 0,498 g de persulfato de amônio (Sigma-Aldrich, 98 %) em 33 mL de HCl (1M) (Solução B). Estas soluções (A e B) foram resfriadas, utilizando um recipiente contendo gelo até atingirem a temperatura de 0 °C. Posteriormente a solução de oxidante (Solução B) foi vertida sobre a solução de monômero (Solução A), sob agitação magnética (33 rpm) (Fisatom 752A) sendo a síntese mantida em banho de gelo a 0 °C por um tempo de 100 min.

### 2.2 Síntese dos nanocompósitos de PANI – GO /HCl

O GO utilizado neste estudo foi gentilmente cedido pelo Instituto de Física da USP, São Carlos/SP e pelo Grupo de Nanociências e Nanotecnologia (Nano) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora/MG. O mesmo foi sintetizado utilizando o processo de esfoliação química pelo método de Hummers modificado (Lima *et al.*, 2017), diluído em água encontrando-se em uma concentração de 5 $mg.mL^{-1}$.

Os nanocompósitos de PANI – GO /HCl foram preparados seguindo a mesma metodologia de síntese da PANI/HCl descrita por Steffens et al. (2009), sendo que foram realizadas algumas modificações baseadas no estudo Wu et al. (2013). Para tanto foi realizada também a preparação de duas soluções, uma contendo 198 µL do monômero anilina, sendo que nesta mesma solução foram adicionados 500 µL de GO (na concentração de 5 $mg.mL^{-1}$) (nanomaterial utilizado para formação do nanocompósito) e 66 mL de HCl 1M, esta solução foi mantida em banho de gelo sob agitação magnética (Fisatom 752ª, Brasil) de 33 rpm até atingirem a temperatura de 0 °C, quando atingida esta temperatura deixou-se a mesma agitando por mais 30 min. Uma outra solução chamada de solução oxidante foi preparada utilizando 0,498 g de persulfato de amônio diluído em 33 mL de HCl (1M) e acondicionada em banho de gelo até atingir a temperatura de 0 °C. Após atingida a temperatura das duas soluções (monômero+nanomaterial e oxidante) iniciou-se o processo de polimerização *in situ*, vertendo-se a solução oxidante sobre a solução contendo o

monômero mais o nanomaterial, sendo a reação mantida em banho de gelo, sob agitação magnética de 33 rpm por 100 min obtendo-se a síntese com os nanocompósitos de PANI – GO /HCl dopados com HCl.

### 2.2 Caracterização utilizando a técnica de espectroscopia no Ultravioleta – Visível (UV-Vis)

O método de UV-Vis é importante para a investigação do nível de dopagem dos polímeros e para confirmação das bandas características que os materiais apresentam. Foram avaliados os seguintes materiais: a síntese de PANI/HCl, o GO e a síntese dos nanocompósitos de PANI-GO/HCl.

Para a realização da análise de UV-Vis, um certo volume (± 2 mL) do analito a ser estutado foi inserido em uma cubeta de quartzo e realizada a leitura em espectrofotômetro de UV-Vis (Agilent, modelo 8453E, Estados Unidos) em uma faixa com comprimento de onda de 200 a 1000 nm, sendo posteriormente realizado um gráfico com as bandas apresentadas nesta faixa de comprimento de onda e comparados a estudos da literatura utilizando estes materiais.

## 3. RESULTADOS

O método de UV-Vis é importante para a averiguação do nível de dopagem dos polímeros e pelas bandas características que os materiais apresentam. A análise foi utilizada para verificar se as sínteses de PANI/HCl e dos nanocompósitos de PANI-GO/HCl encontravam-se no seus modos dopados e condutivos, e se havia a presença do GO no nanocompósito formado, sendo por este motivo realizada a caracterização para este material (GO) também na sua forma isolada.

A Figura 1 mostra o espectro da PANI/HCl obtida por síntese *in situ* onde apresentou um pico localizado na banda 360 nm que está relacionada às transições eletrônicas π-π* envolvendo os anéis benzenóides e/ou quinóides (Alves *et al.*, 2013) da PANI dopada.

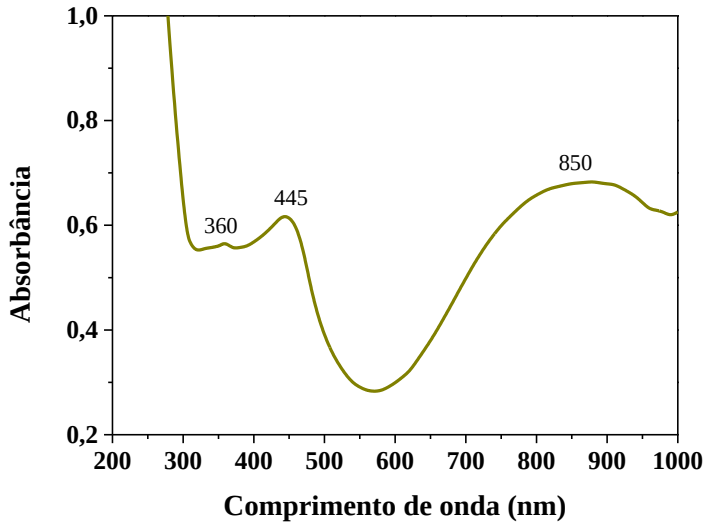



Figura 1 - Espectros de absorção no UV-Vis da PANI.

A forma condutora da PANI (sal esmeraldina) possui 2 bandas de absorção características uma em torno de 420 nm e outra em 800 nm devido a absorção do poláron formado na cadeia principal da PANI (Galiani *et al.*, 2007; Manzoli *et al.*, 2011; Alves *et al.*, 2013; Singh *et al.*, 2014). Estas duas bandas típicas do estado condutor da PANI encontradas no espectro obtido deste estudo, possuem resultados similares aos encontrados na literatura (Banerjee *et al.*, 2009; Manzoli *et al.*, 2011; PriyaL and Manjula G, 2012; Dhingra *et al.*, 2013; Melad and Jarur, 2016). Pequenos deslocamentos das bandas de absorção podem ser atribuídos ao maior ou menor grau de protonação dos polímeros e também a alguma variação na conformação (Brugnollo *et al.*, 2008).

Quando o GO foi caracterizado por UV-Vis isoladamente observa-se um ombro em cerca de 230 nm (Fig. 2) referente a transição π-π* das ligações aromáticas C-C do GO, o que demonstra que o mesmo foi oxidado e obtido de maneira correta (Wang *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2012; Imran *et al.*, 2014; Çiplak *et al.*, 2015; Vargas *et al.*, 2017), o espectro obtido confirma de que o mesmo encontrava-se em ótimas condições para ser utilizado na elaboração dos nanocompósitos de PANI-GO/HCl

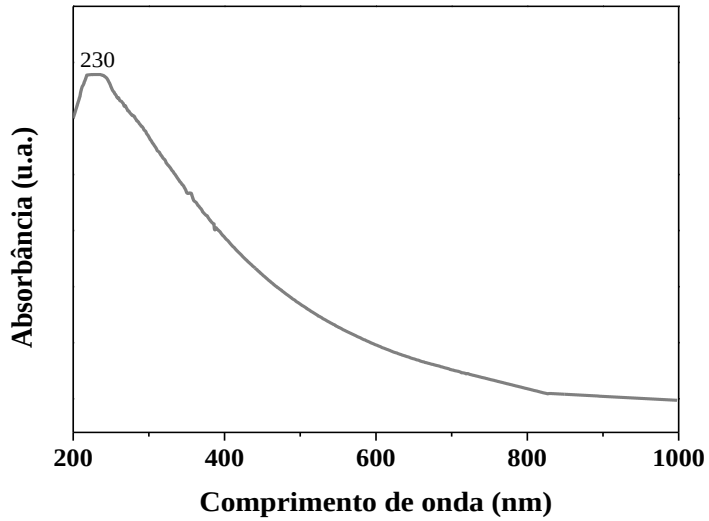



Figura 2 - Espectro de absorção no UV-Vis da solução do GO**.**

Sendo assim elaborou-se a síntese com os nanocompósitos de PANI-GO/HCl e submetidos a caracterização utilizando a técnica de UV-Vis, o espectro obtido é demonstrado na Fig. 3. O GO tem um pico de absorção típico em 230 nm, como pode ser visto na Fig. 2, porém com a fixação do monômero de anilina ao GO, a banda característica (230 nm) desaparece devido à presença dos polarons (espécies carregadas de catiões), surgindo outros novos picos com um ligeiro desvio do comprimento de onda, demostrando a polimerização e formação do nanocompósito de anilina com o GO. Sendo assim surgiu um novo pico em torno de 245 nm, que justamente está relacionado à conjugação da molécula, indicando a interação π-π entre a PANI e GO no nanocompósito (PANIGO/HCl) formado (Wang *et al.*, 2010). (Riaz, 2017). Outro pico característico para este material é observado no número de onda de 300 nm e refere-se a transição n – π* do C=O (Tayel *et al.*, 2015).

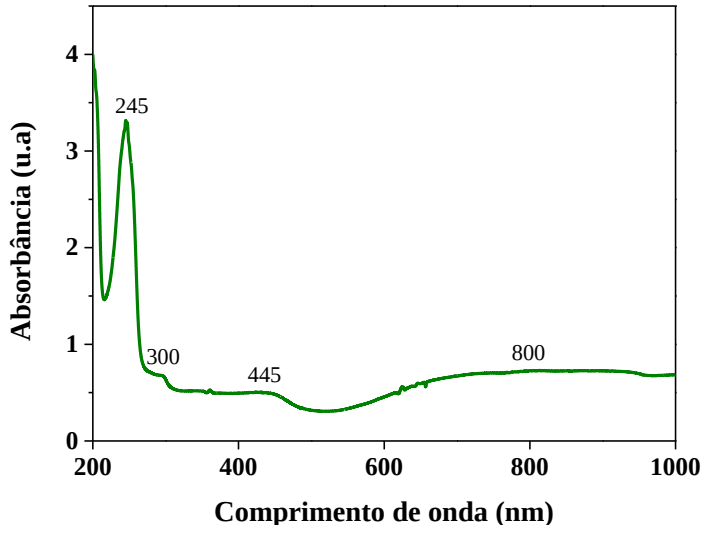



Figura 3 - Espectros de absorção no UV-Vis do nanoompósito PANI-GO/HCl.

Pode se visualizar também a presença de outras duas bandas que se referem a PANI, uma em 445 e outra em 800 nm, ambas confirmam a forma condutora da PANI na formação dos nanocompósito e representam à transição polaron π*e π, respectivamente da estrutura eletrônica do PANI, estas bandas são alargadas, confirmando a polimerização da anilina na superfície GO. O aumento da intensidade e largura da banda mostra aumento na densidade eletrônica na estrutura molecular do GO devido à incorporação da PANI (Tayel *et al.*, 2015).

## 4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir por meio dos resultados dos espectros, que a PANI encontrava-se em seu estado dopado assim como o GO estava em ótimas condições de uso, gerando um nanocompósito com potencial para aplicação em filmes sensitivos de sensores de gases.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPQ, FAPERGS, FINEP e a URI pelo apoio financeiro ao presente trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

Alves, K.G.B., Melo, E.F. de, Andrade, C.A.S. & Melo, C.P. de. 2013. "Preparation of fluorescent polyaniline nanoparticles in aqueous solutions". *Journal of Nanoparticle Research*, Vol.15, p.1339.

Andre, R.S., Shimizu, F.M., Miyazaki, C.M., Riul, A., Manzani, D., Ribeiro, S.J.L., Oliveira, O.N., Mattoso, L.H.C. & Correa, D.S. 2017. "Hybrid layer-by-layer (LbL) films of polyaniline, graphene oxide and zinc oxide to detect ammonia". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 238, p.795–801.

Awuzie, C.I. (2017). "Conducting Polymers". *Materials Today: Proceedings*, 4, 5721–5726.

Balint, R., Cassidy, N.J. & Cartmell, S.H. 2014. Conductive polymers: Towards a smart biomaterial for tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, Vol. 10, p. 2341–2353.

Banerjee, S., Sarmah, S. & Kumar, A. 2009. "Photoluminescence studies in HCl-doped polyaniline nanofibers". *Journal of Optics*, Vol. 38, p. 124–130.

Baniasadi, H., Ramazani S.A., A., Mashayekhan, S. & Ghaderinezhad, F. 2014. "Preparation of conductive polyaniline/graphene nanocomposites via in situ emulsion polymerization and product characterization". *Synthetic Metals*, Vol. 196, p. 199–205.

Brugnollo, E.D., Paterno, L.G., Leite, F.L., Fonseca, F.J., Constantino, C.J.L., Antunes, P.A. & Mattoso, L.H.C. 2008. "Fabrication and characterization of chemical sensors made from nanostructured films of poly(o-ethoxyaniline) prepared with different doping acids". *Thin Solid Films*, Vol. 516, p. 3274–3281.

Çiplak, Z., Yildiz, N. & Çalimli, A. 2015. "Investigation of graphene/ag nanocomposites synthesis parameters for two different synthesis methods". *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, Vol. 23, p. 361–370.

Dhingra, M., Kumar, L., Shrivastava, S., Kumar, S. & Annapoorni, S. 2013. "*I*mpact of interfacial interactions on optical and ammonia sensing in zinc oxide/polyaniline structures*"*. *Bulletin of Materials Science*. Vol. 36, p. 647–652.

Fratoddi, I., Venditti, I., Cametti, C. & Russo, M.V. 2015. "Chemiresistive polyaniline-based gas sensors: A mini review". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 220, p. 534–548.

Galiani, P.D., Malmonge, J.A., Santos, D.P. Dos & Malmonge, L.F. 2007. "Compósitos de borracha natural com polianilina". *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 17, p. 93–97.

Imran, S.M., Kim, Y., Shao, G.N., Hussain, M., Choa, Y. & Kim, H.T. 2014. "Enhancement of electroconductivity of polyaniline/graphene oxide nanocomposites through in situ emulsion polymerization". *Journal of Materials Science*, Vol. 49, p. 1328–1335.

Lange, U., Roznyatovskaya, N. V. & Mirsky, V.M. 2008. "Conducting polymers in chemical sensors and arrays". *Analytica Chimica Acta*, Vol. 614, p. 1–26.

Li, Z.F., Blum, F.D., Bertino, M.F. & Kim, C.S. 2013. "Understanding the response of nanostructured polyaniline gas sensors". *Sensors and Actuators, B: Chemical*, Vol. 183, p. 419–427.

Lima, A.H., Mendonça, J.P., Duarte, M., Stavale, F., Legnani, C., Carvalho, G.S.G. De, Maciel, I.O., Sato, F., Fragneaud, B. & Quirino, W.G. 2017. "Reduced graphene oxide prepared at low temperature thermal treatment as transparent conductors for organic electronic applications". *Organic Electronics*, Vol. 49, p. 165–173.

Manzoli, A., Steffens, C., Paschoalin, R.T., Correa, A., Alves, W., Leite, F. & Herrmann, P. (2011). "Low-cost gas sensors produced by the graphite line-patterning technique applied to monitoring banana ripeness". *Sensors*, Vol. 11, p. 6425–6434.

Medeiros, E.S., Oliveira, J.E., Consolin-Filho, N., Paterno, L.G. & Mattoso, L.H.C. (2012). "Introdução aos polímeros condutores". In: *Uso de polímeros condutores em sensores*. p. 62–77. Brasília.

Melad, O. & Jarur, M. 2016. "Studies on the effect of doping agent on the structure of polyaniline". *Chemistry & Chemical Technology*, Vol. 10, 41–44.

Muralikrishna, S., Nagaraju, D.H., Balakrishna, R.G., Surareungchai, W., Ramakrishnappa, T. & Shivanandareddy, A.B. 2017. "Hydrogels of polyaniline with graphene oxide for highly sensitive electrochemical determination of lead ions". *Analytica Chimica Acta*, Vol. 990, p. 67–77.

Nguyen, V.H., Lamiel, C., Kharismadewi, D., Tran, V.C. & Shim, J.-J. 2015. "Covalently bonded reduced graphene oxide/polyaniline composite for electrochemical sensors and capacitors". *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol. 758, p. 148–155.

Parmar, M., Balamurugan, C. & Lee, D.-W. 2013. "PANI and Graphene/PANI nanocomposite films—comparative toluene gas sensing behavior". *Sensors*, Vol. 13, p. 16611–16624.

PriyaL & Manjula G. 2012. "HCl doped PVA/ Pani Blends: DC conductivity studies". *Advances in Applied Science Research*, Vol. 3, p. 489–494.

Promphet, N., Rattanarat, P., Rangkupan, R., Chailapakul, O. & Rodthongkum, N. 2015. "An electrochemical sensor based on graphene/polyaniline/polystyrene nanoporous fibers modified electrode for simultaneous determination of lead and cadmium". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 207, p. 526–534.

Riaz, A. 2017. "Effect of Polymerization of Aniline on Thermal Stability, Electrical Conductivity and Band Gap of Graphene Oxide/PolyanilineNanocomposites". *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 12, p. 1785–1796.

Singh, S.K., Verma, A.K. & Shukla, R.K. 2014. "Synthesis and optical studies of pure polyaniline film". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 3, p. 512-517.

Steffens, C., Manzoli, A., Paschoalin, R.T., Corraza, F.C., Oliveira, J.V. de & Herrmann, P.S.D.P. 2009. "Aplicação de sensores de gases de baixo custo recobertos com filmes de polianilina na observação do amadurecimento de banana prata". *Embrapa Instrumentação Agropecuária Documentos*, p. 1–16.

Tanguy, N.R., Thompson, M. & Yan, N. 2018. "A review on advances in application of polyaniline for ammonia detection". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 257, p. 1044–1064.

Tayel, M.B., Soliman, M.M. & Harb, M.E. 2015. "Fabrication of supercapacitor based on graphene and polyaniline for energy storage applications". *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 4, p. 8064–8072.

Vargas, L.R., Poli, A.K.D.S., Dutra, R. de C.L., Souza, C.B. De, Baldan, M.R. & Gonçalves, E.S. 2017. "Formation of Composite Polyaniline and Graphene Oxide by Physical Mixture Method". *Journal of Aerospace Technology and Management*, Vol. 9, p. 29–38.

Wang, H., Hao, Q., Yang, X., Lu, L. & Wang, X. 2010. "Effect of Graphene Oxide on the Properties of Its Composite with Polyaniline". *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 2, p. 821–828.

Wu, Z., Chen, X., Zhu, S., Zhou, Z., Yao, Y., Quan, W. & Liu, B. 2013. "Enhanced sensitivity of ammonia sensor using graphene/polyaniline nanocomposite". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 178, p. 485–493.

Xu, G., Wang, N., Wei, J., Lv, L., Zhang, J., Chen, Z. & Xu, Q. 2012. "Preparation of Graphene Oxide/Polyaniline Nanocomposite with Assistance of Supercritical Carbon Dioxide for Supercapacitor Electrodes". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 51, p. 14390–14398.

Yadav, P., Srivastava, A.K., Yadav, M.K., Kripal, R., Singh, V., Lee, D.B. & Lee, J.-H. 2019. "Synthesis and dielectric characterization of polycarbonate/multi-wall carbon nanotubes nanocomposite". *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 12, p. 440–446.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO POR UV-VIS DE FILMES DE PANI/GO DEPOSITADOS PELA TÉCNICA DE LAYER-BY-LAYER

**Adriana Marcia Graboski**
**Greice Ostrowski**
**Sandra Cristina Ballen**
**Juliana Steffens**
**Natália Paroul**
**Clarice Steffens**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI-Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim, RS.
e-mail: adigraboski@hotmail.com, greicemaria69@gmail.com, sandra-ballen@live.com, julisteffens@uricer.com.br, nparoul@uricer.edu.br, clarices@uricer.com.br

**Alessandro Henrique de Lima**
**Welber Gianini Quirino**
Grupo de Nanociência e Nanotecnologia da UFJF – (Nano), Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Bairro São Pedro, Juiz de Fora, MG.
e-mail: alessandrohlima@gmail.com, wgquirino@gmail.com

**Flávio Makoto Shimizu**
Instituto de Física São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schimidt, São Carlos, SP.
e-mail: flamakoto@yahoo.com.br

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi o acompanhamento do crescimento do filme de polianilina (PANI) e óxido de grafeno (GO) (PANI/GO) depositados pela técnica de *Layer by Layer* (LbL) utilizando a espectroscopia de ultravioleta visível (UV-Vis). Sendo assim primeiramente realizou-se a síntese da PANI utilizando a técnica de polimerização *in situ* e do GO. Posteriormente realizou-se a construção dos filmes pela deposição LbL, sobre substrato de quartzo, até obtenção de 7 bicamada, sendo realizada a caracterização a cada bicamada formada. Os espectros obtidos indicaram que cada bicamada contribuiu de forma igual para a formação do filme final, o que pode ser confirmado pela dependência linear da absorbância com o número de bicamadas depositadas, obtendo-se um coeficiente de Pearson de 0,99. A presença da Pani no estado dopado foi observada pelas bandas 445 e 800 nm, assim como a presença do GO, indicado na banda 300 nm. O estudo do crescimento dos filmes de PANI/GO por espectroscopia UV-Vis indicaram que os mecanismos de deposição do filme realizou um processo de adsorção com a mesma quantidade de material adsorvido em cada etapa, sendo mantidas integras as propriedades dos materiais, o que confere possibilidade para uso como filme em sensores de gases.

**Palavras chave:** *Polianilina, Óxido de grafeno, Layer by Layer, UV-Vis.*

## 1. INTRODUÇÃO

O uso dos polímeros condutores como camada sensitiva em sensores de gases é uma das aplicações que mais cresceu nos últimos anos. Esse crescimento está relacionado com a possibilidade do uso de suas propriedades elétricas, eletroquímicas e óticas para converter informações físicas e químicas, tal como concentração, atividade e pressão parcial em um sinal analiticamente mensurável (Medeiros *et al.*, 2012). Eles apresentam as vantagens de possuírem alta sensibilidade, baixo custo, boa reversibilidade dentre outras vantagens (Bai and Shi, 2007).

A opção de utilização de polímeros condutores como camada sensitiva em sensores de gases se deve aos inúmeros fenômenos físicos e eletrônicos que podem sofrer quando expostos aos analitos. Estes fenômenos causam mudanças na matriz polimérica tais como modificações na conformação das cadeias, efeitos de solvatação tanto das cadeias poliméricas como dos contra-íons dos dopantes, atração ou inserção de elétrons, alteração da mobilidade dos portadores de carga e inchamento da matriz polimérica (BAI; SHI, 2007; PATERNO; MATTOSO, 1998).

Uma grande variedade de sensores tem sido desenvolvidos usando polímeros condutores como camadas ativas em sensores de gases (Bai and Shi, 2007), sendo que a polianilina (PANI) vem se destacando por sua facilidade de síntese, mecanismos de condução elétrica estáveis, alta estabilidade química em condições ambiente, baixo custo e dopagem

química reversível (Mattoso, 1996; Fratoddi *et al.*, 2015). Estudos mostram que a utilização de polímeros em conjunto com nanomateriais (óxido de grafeno (GO), nanotubos de carbono, dentre outros) formam materiais conhecidos como nanocompósitos que apresentam desempenho superior aos componentes individuais, são mais versáteis e de alto desempenho, possibilitando entre outras aplicações a criação de sensores mais sensíveis (Zhao *et al.*, 2012; Luo *et al.*, 2013).

Para que haja a obtenção de um filme polimérico uniforme com propriedades específicas e melhoradas, a escolha da síntese e o estado de oxidação do polímero são fundamentais para o desenvolvimento das sínteses e deposições destes polímeros, para que assim permita-se a construção de dispositivos que demostrem respostas confiáveis (Steffens *et al* ., 2009; Tepper and Levit, 2000).

A deposição é responsável por transferir a dispersão ou material compósito no seu estado inicial líquido sobre um substrato desejado (Kanoun *et al* ., 2014). Várias técnicas de deposição podem ser utilizados, sendo que a qualidade dos filmes dependem destas técnicas de deposição, pois influenciam a adesão, a transferência de força e a distribuição da força do filme. Um processo de deposição apropriado é crucial para alcançar filmes de alta qualidade e boas propriedades de detecção.

Várias técnicas de deposição já foram propostas tais como: gotejamento *(drop casting)*, camada por camada (*layer by laye*r (LbL)), impressão jato de tinta (*inkjet printing)*, rotação (*spin coating)*, aspersão *(spray coating)*, mergulhamento *(dip coating)* que podem ser utilizadas para deposição dos filmes sensitivos (Kanoun *et al.*, 2014). Dentre estas destaca-se a técnica de camada por camada ou automontagem LbL, a qual utiliza forças de atração, tais como ligação de hidrogênio eletrostática entre as espécies depositadas para deposição de filmes finos sobre um substrato desejado. Os filmes finos automontados são fabricados por imersão alternada do substrato em dois eletrólitos carregados de formas opostas, um catiônico e outro aniônico ficando imerso por um determinado tempo, sendo entre estes realizado um processo de lavagem e secagem, este procedimento é repetido por *n* vezes, dependendo da aplicação, propriedade e espessura de filme que se deseja obter (Detsri and Dubas, 2013; Kanoun *et al.*, 2014; Yoshida *et al.*, 2014).

Os espectros de absorção por espectroscopia no ultravioleta visível (UV-Vis) são importantes para a caracterização destes filmes poliméricos pois pode-se ter um acompanhamento se a deposição está sendo realizada de maneira uniforme e linear sobre o substrato, assim como a dopagem destes polímeros (Manzoli *et al* ., 2014).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi a caracterização de filmes de PANI depositados pela técnica de LbL utilizando a espectroscopia de UV-Vis.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Síntese da PANI

O método de síntese da PANI utilizado neste estudo foi o método convencional de polimerização *in situ* onde utilizou-se como monômero a anilina ($C_6H_5NH_2$) (Sigma Aldrich 99,5 %) e como oxidante o persulfato de amônio ($(NH_4)_2S_2O_8$) (Sigma-Aldrich, 98 %) ambos diluídos em ácido clorídrico (HCl) 1M **(**Sigma-Aldrich**)**, o qual foi utilizado como dopante.

Para tanto, primeiramente realizou-se a purificação da anilina por destilação a vácuo, sendo posteriormente armazenada em frasco âmbar protegida da luz e mantida a uma temperatura de 4 °C.

Para o processo de síntese e dopagem da PANI primeiramente preparou-se duas soluções: Solução A: contendo 198 µL de monômero anilina destilada, diluída em 66 mL de HCl (1M) e a Solução B, adicionando-se 0,498 g do oxidante persulfato de amônio em 33 mL de HCl (1M), ambas soluções foram acondicionadas em banho de gelo até atingirem a temperatura de 0 °C, esta temperatura foi utilizada pois quanto menor for a temperatura de síntese maior é a distância entre os agregados poliméricos o que consequentemente torna a PANI mais condutiva (Paschoalin *et al.*, 2012).

Decorrido o tempo de síntese filtrou-se a solução em bomba a vácuo (TE-058, Tecnal equipamentos científicos, Brasil) utilizando papel Filtro Milipore 25 µm, e lavou-se com metanol (Merck 99,5 %, Alemanha) e água Mili-Q. O retido obtido foi seco em dessecador a vácuo, por 12 h em temperatura ambiente (22°C ± 4). Posteriormente a Pani em pó foi raspada do papel filtro e armazenada em frascos âmbar para proteção da luz e da degradação pela ação do oxigênio.

### 2.2 Síntese do óxido de grafeno (GO)

O OG utilizado neste estudo foi gentilmente cedido pelo Instituto de Física da USP, São Carlos/SP e pelo Grupo de Nanociências e Nanotecnologia (Nano) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora/MG. O OG foi sintetizado utilizando o processo de esfoliação química pelo método de Hummers modificado (Lima *et al.*, 2017). A solução de OG se encontrava diluído em uma concentração de 5 $mg.mL^{-1}$, sendo que para utilização na construção dos filmes o mesmo foi novamente diluído em solução pH 3 (água destilada ajustada a pH 3 com HCl fumegante 37 % **(**Sigma-Aldrich, Brasil) até chegar numa concentração final de 0,5 $mg.mL^{-1}$.

### 2.3 Deposição dos filmes de PANI-GO utilizando a técnica de LbL

A técnica de deposição LbL foi utilizada seguindo a metodologia de Raposo et al., (1997), onde depositaram-se 7 bicamadas de PANI/OG por meio da deposição alternada de soluções policátion/poliânion. Para tanto preparou-se as duas soluções uma policátion contendo PANI e outra poliânion contendo o OG, as quais são descritas a seguir.

*a) Preparo da solução policátion*: Para a solução de policátion utilizando PANI pesou-se 10 mg do pó de PANI obtido como descrito no item 2.1, em um balão de 10 mL e adicionou-se 1 mL de n, n dimetilacetamida (DMAc) (Merck 99 %). Esta solução foi submetida a 1 h de sonicação em ultrassom (Unique modelo USC-1800), sendo posteriormente completado o volume com solução HCl pH 3,0 (água destilada ajustada a pH 3 com HCl fumegante 37 % **(**Sigma-Aldrich) até completar 10 mL, possuindo assim uma concentração final de 1 mg.mL$^{-1}$ de PANI. A solução foi mantida em agitação *overnight* (MANZOLI et al., 2014).

*b) Preparo da solução poliânion*: A solução poliânion com OG, utilizou o OG obtido pelo processo de esfoliação química pelo método de Hummers modificado (Lima *et al.*, 2017), sendo gentilmente cedido pelo Instituto de Física da USP, São Carlos/SP e pelo Grupo de Nanociências e Nanotecnologia (Nano) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora/MG. O mesmo se encontrava diluído em uma concentração de 5 mg.mL sendo diluído em solução HCl pH 3 com concentração final de 0,5 mg. mL$^{-1}$.

*c) Procedimento de montagem das bicamadas LbL:* Para a elaboração dos filmes PANI/OG utilizou-se uma sequência de procedimentos que podem ser melhor compreendidos e visualizados na Figura 1.

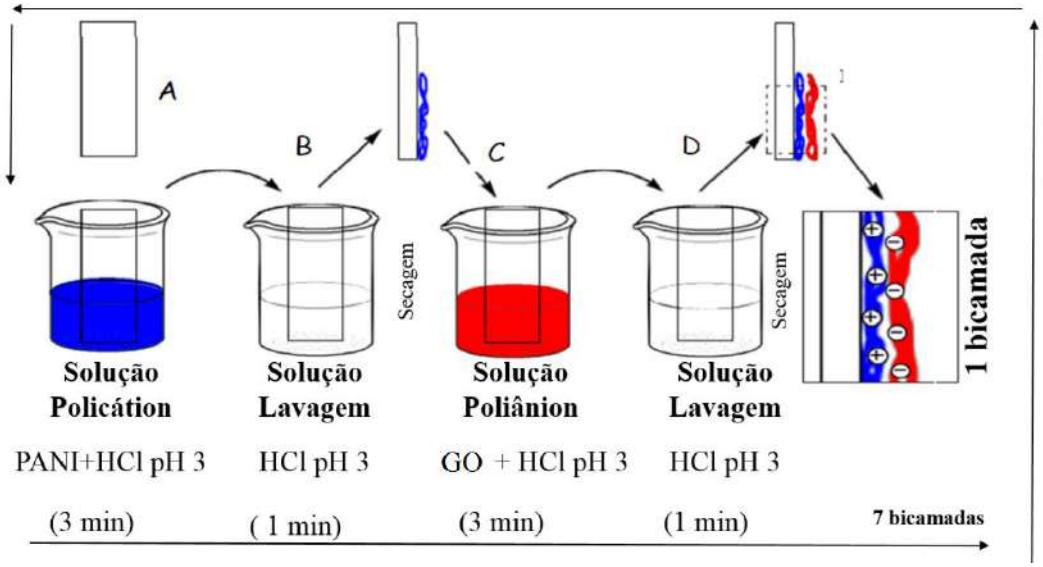



Figura 1 - Esquema do método de deposição pela técnica de LbL.

Como pode ser visto na Figura 1, a placa de quartzo foi emergida primeiramente na solução de policátion (PANI) por 3 min, sendo então emergidos na solução de lavagem (solução HCl pH 3) por mais 1 min e secos em fluxo de ar. Em seguida os eletrodos foram imersos na solução poliânion (OG) por mais 3 min e seguiram para a solução lavagem por 1 min, sendo então secos em fluxo de ar, formando assim a 1° bicamada. Este processo foi repetido sete vezes para a obtenção de 7 bicamadas sobre uma cubeta de quartzo, sendo que em cada bicamada era realizada a caracterização UV-Vis.

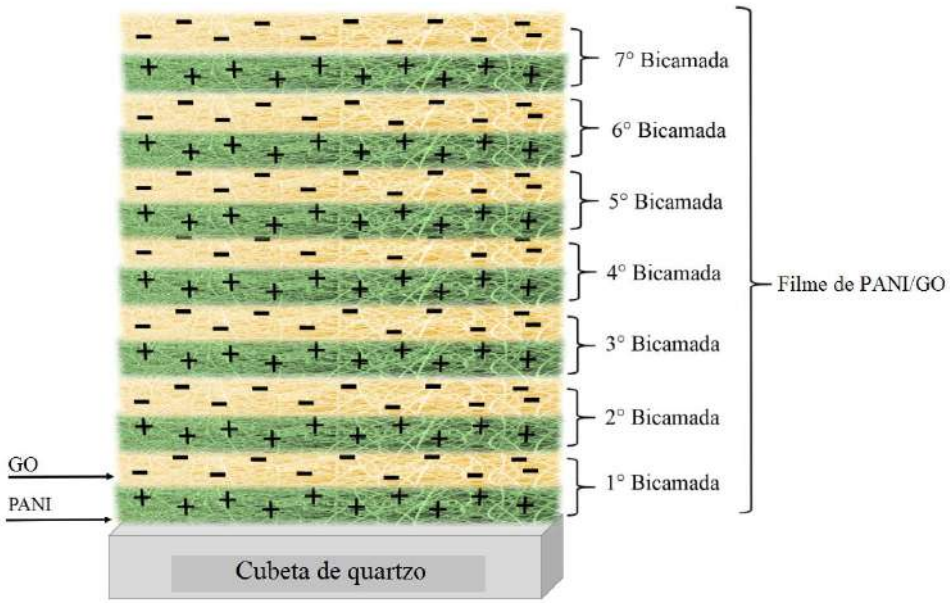



Figura 2 - Esquema da formação das camadas sensitivas utilizando o método de deposição LbL.

### 2.4 Espectroscopia no ultravioleta – visível (UV-Vis)

Para tanto foi investigado o crescimento do filme por meio da medida de absorção no UV-Vis a cada bicamada depositada, acompanhando-se as bandas 300 nm (Tao *et al.*, 2012; Gómez *et al.*, 2013; Junqueira *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017), característica do GO e as bandas 445 e 850 nm (Galiani *et al.*, 2007; Manzoli *et al.*, 2011; Alves *et al.*, 2013; Singh *et al.*, 2014), características da PANI dopada até a obtenção de 7 bicamadas e formação do filme PANI/OG. Os espectros foram obtidos utilizando-se um espectrofotômetro de UV-Vis da Agilent, modelo 8453E, na faixa de comprimento de onda de 200 a 1000 nm com uma cubeta de quartzo.

## 3. RESULTADOS

O acompanhamento do crescimento do filme de PANI-GO pela deposição LbL, foi realizado utilizando a técnica espectroscópica de UV-Vis, sendo realizada a leitura a cada bicamada depositada sobre o quartzo até a formação de 7 bicamadas utilizando-se um comprimento de onda de 200 a 1000 nm

Como mostrado na Figura 3 acompanhou-se as bandas de absorção em torno de 300 nm atribuído às transições $\pi \rightarrow \pi^*$ dos grupos carbonila do OG (Tao *et al.*, 2012; Gómez *et al.*, 2013; Junqueira *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017) do GO. A banda em 445 nm também foi acompanhada pois é característica do estado condutivo da PANI e referente a transição poláron (Luo *et al.*, 2013) sendo também acompanhada a banda em 850 nm que confirma a incorporação do dopante na estrutura da PANI responsável pelo estado dopado e condutor da PANI (Ram *et al.*, 2010; Enrique *et al.*, 2013).

Pode se visualizar que com aumento do número de bicamadas depositas houve um aumento gradual da intensidade dos espectros de absorbância de UV-Vis na absorção característica de cada picos correspondente a cada componente, o que indica um crescimento contínuo do sistema de bicamadas. O que pode ser confirmado pelo coeficiente de determinação encontrado ($R^2$ = 0,99) para as bandas 300, 445 e 850 nm (Figura 3 (b)), indicando e afirmando o crescimento regular e uniforme, onde cada camada contribuiu de forma igual para a formação homogênea do filme de PANI/GO (Paterno and Mattoso, 2002; Tang *et al.*, 2009). Pode-se dizer que a formação desse filme ocorreu principalmente por interações eletrostáticas entre a PANI carregada positivamente e o OG carregados negativamente (Luo *et al.*, 2013).

Uma das condições fundamentais para o crescimento linear das bicamadas é a não neutralidade das cargas (Rubner, 2003), sendo que para o filme de PANI/GO esta condição foi garantida por meio do ajuste do pH 3 das soluções policátions e poliânions como para as soluções das águas de lavagem de cada camada.

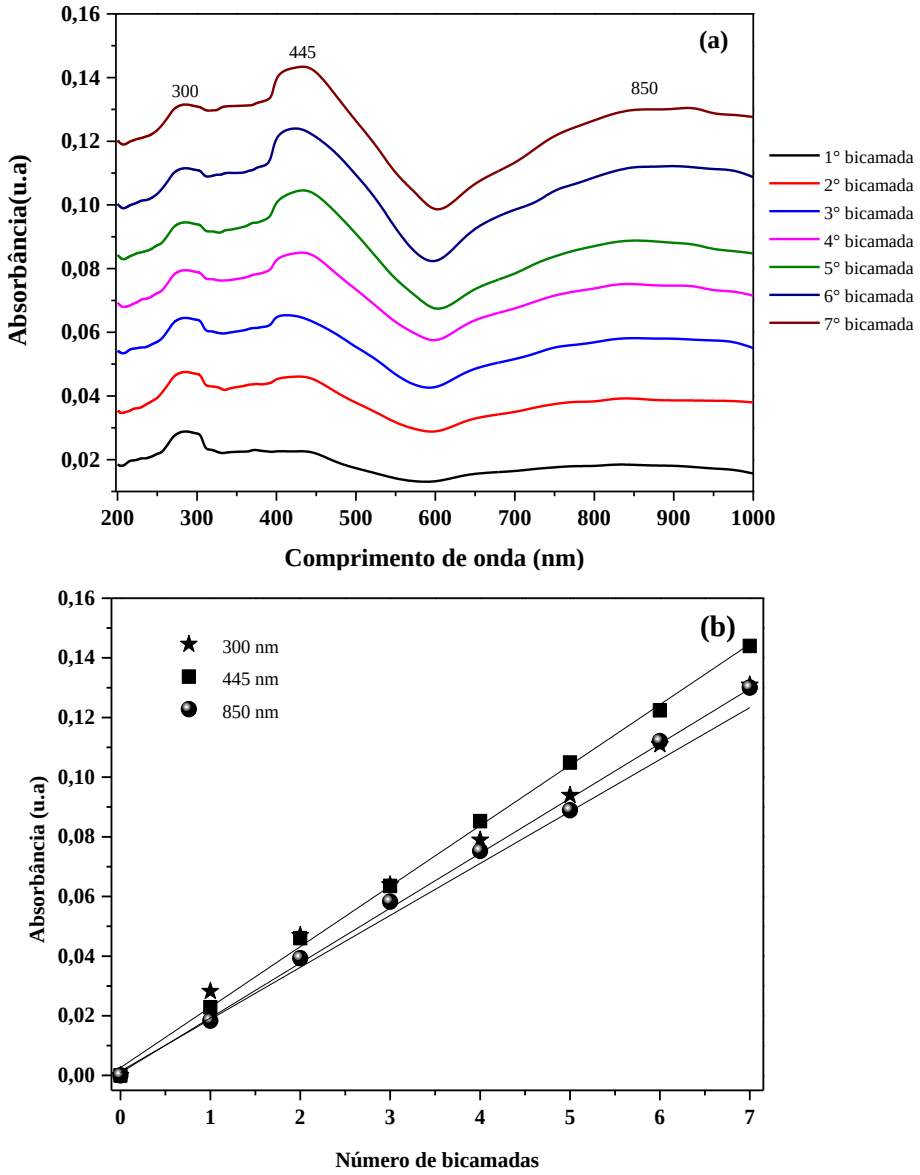



Figura 3 - Espectros de absorção no UV-Vis do crescimento dos filmes LbL PANI/OG sobre o substrato de quartzo. Os gráficos inseridos mostram a absorção (considerando o pico a 300, 445 e 850 nm como uma função do número de bicamadas depositadas (a) e suas respectivas dependências lineares (b).

## 4. CONCLUSÃO

O crescimento dos filmes de PANI/GO caracterizados pela técnica de UV-Vis, confirmaram a deposição linear do filme sobre os substratos de quartzo, indicando que cada bicamada depositada, contribuiu com uma quantidade de material praticamente igual na formação do filme final. Os picos de absorção em números de onda de 300 nm assim com as bandas em 445 nm e 800 nm, referente as ótimas condições destes materiais e confirmando o estado condutor da PANI, o que demonstra que estes filme pode ser aplicado em sensores de gases, os quais são empregados para detecção de diversos compostos voláteis.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPQ, FAPERGS, FINEP e a URI Erechim pela infraestrutura e apoio financeiro ao presente trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

Alves, K.G.B., Melo, E.F. de, Andrade, C.A.S. & Melo, C.P. 2013. "Preparation of fluorescent polyaniline nanoparticles in aqueous solutions". *Journal of Nanoparticle Research*, Vol.15, p. 1339.

Bai, H. & Shi, G. 2007. "Gas Sensors Based on Conducting Polymers". *Sensors*, Vol.7, p. 267–307.

Detsri, E. & Dubas, S.T. 2013. "Interfacial polymerization of polyaniline and its layer-by-layer assembly into polyelectrolytes multilayer thin-films". *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 128, p. 558–565.

Enrique, J., Gómez-Yáñez, Hernández-Pérez, C., Ángeles, M. de los & Corea-Téllez, M. de la L. 2013. "Submicrometric Fibrillar structures of codoped polyaniline obtained by co-oxidation using the NaClO/Ammonium peroxydisulfate system: synthesis and characterization". *Journal of the Mexican Chemical Society*, Vol. 57, p. 306–313.

Fratoddi, I., Venditti, I., Cametti, C. & Russo, M.V. 2015. "Chemiresistive polyaniline-based gas sensors: A mini review". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 220, p. 534–548.

Galiani, P.D., Malmonge, J.A., Santos, D.P. Dos & Malmonge, L.F. 2007. "Compósitos de Borracha Natural com Polianilina". *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 17, p. 93–97.

Gómez, I., Mejía, E. & Cabanzo, R. (2013). "Synthesis of graphene oxide and chemically reduced graphene nanosheets Synthesis of grapheme oxide and chemically reduced grapheme nanosheets". *Revista Colombiana de Materiales N*, Vol 5, p. 177–184.

Junqueira, G.M.A., Mendonça, J.P.A., Lima, A.H., Quirino, W.G. & Sato, F. 2016. "Enhancement of nonlinear optical properties of graphene oxide-based structures: push–pull models". *RSC Advances*, Vol. 6, p. 94437–94450.

Kanoun, O., Müller, C., Benchirouf, A., Sanli, A., Dinh, T., Al-Hamry, A., Bu, L., Gerlach, C. & Bouhamed, A. 2014. "Flexible carbon nanotube films for high performance strain sensors". *Sensors*, Vol. 14, p. 10042–10071.

Li, H., Jia, L.-P., Ma, R.-N., Jia, W.-L. & Wang, H.-S. 2017. "Electrodeposition of PtNPs on the LBL assembled multilayer films of (PDDA-GS/PEDOT:PSS) n and their electrocatalytic activity toward methanol oxidation". *RSC Advances*, Vol. 7, p. 16371–16378.

Lima, A.H., Mendonça, J.P., Duarte, M., Stavale, F., Legnani, C., Carvalho, G.S.G. De, Maciel, I.O., Sato, F., Fragneaud, B. & Quirino, W.G. 2017. "Reduced graphene oxide prepared at low temperature thermal treatment as transparent conductors for organic electronic applications". *Organic Electronics*, Vol. 49, p. 165–173.

Luo, J., Chen, Y., Ma, Q., Liu, R. & Liu, X. 2013. "Layer-by-layer self-assembled hybrid multilayer films based on poly(sodium 4-styrenesulfonate) stabilized graphene with polyaniline and their electrochemical sensing properties". *RSC Advances*, Vol. 3, p. 17866.

Manzoli, A., Shimizu, F.M., Mercante, L. A., Paris, E.C., Oliveira, O.N., Correa, D.S. & Mattoso, L.H.C. 2014. "Layer-by-layer fabrication of AgCl–PANI hybrid nanocomposite films for electronic tongues". *Physical Chemistry Chemical Physics*, Vol. 16, p. 24275–24281.

Manzoli, A., Steffens, C., Paschoalin, R.T., Correa, A., Alves, W., Leite, F. & Herrmann, P. 2011. "Low-cost gas sensors produced by the graphite line-patterning technique applied to monitoring banana ripeness. *Sensors*, Vol. 11, p. 6425–6434.

Mattoso, L.H.C. 1996. Polyanilines: Synthesis, structure and properties. *Quimica Nova*.Vol. 19. p. 388.

Medeiros, E.S., Oliveira, J.E., Consolin-Filho, N., Paterno, L.G. & Mattoso, L.H.C. (2012). "Introdução aos polímeros condutores". In: *Uso de Polímeros Condutores em Sensores.* p. 62–77. Brasília.

Paschoalin, R.T., Steffens, C., Manzoli, A., Paris, E.C. & Herrmann, P.S.P. 2012. "PANI conductivity: a dependence of the chemical synthesis temperature". *Macromolecular Symposia*, 319, 48–53.

Paterno, L.G. & Mattoso, L.H.C. 1998. "Novos materiais poliméricos para sensores de gases". *Comunicado Técnico Embrapa*, Vol. 29, p. 1–5.

Paterno, L.G. & Mattoso, L.H.C. 2002. "Influence of different dopants on the adsorption, morphology, and properties of self-assembled films of poly(o-ethoxyaniline)". *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 83, p. 1309–1316.

Ram, M., Yavuz, O. & Aldissi, M. 2010. "Conducting polymer nanocomposites membranes as chemical sensor". In: *Sensors for Chemical and Biological Applications*. p. 49–50. CRC Press/Taylor & Francis.

Ram, M.K., Salerno, M., Adami, M., Faraci, P. & Nicolini, C. 1999. "Physical properties of polyaniline films : assembled by the layer-by-layer technique". *Langmuir*, Vol. 13, p. 1252–1259.

Raposo, M., Pontes, R.S., Mattoso, L.H.C. & Oliveira, O.N. 1997. "Kinetics of Adsorption of Poly( o -methoxyaniline) Self-Assembled Films". *Macromolecules*, Vol. 30, p. 6095–6101.

Rubner, M.F. 2003. "pH-Controlled Fabrication of Polyelectrolyte Multilayers: Assembly and Applications". In: *Multilayer Thin Films*. p. 133–154. Weinheim, FRG: Wiley-eds G. Decher and J. B. Schlenoff.

Singh, S.K., Verma, A.K. & Shukla, R.K. 2014. "Synthesis and optical studies of pure polyaniline film". *International Journal of Current Microbiology and Applied* . Vol. 3, p. 512-517.

Steffens, C., Manzoli, A., Francheschi, E., Corazza, M.L., Corazza, F.C., Oliveira, J.V. & Herrmann, P.S.P. 2009. "Low-cost sensors developed on paper by line patterning with graphite and polyaniline coating with supercritical $CO_2$". *Synthetic Metals*, Vol. 59, p. 2329–2332.

Tang, Q., Wu, J., Sun, X., Li, Q. & Lin, J. 2009. "Layer-by-layer self-assembly of conducting multilayer film from

poly(sodium styrenesulfonate) and polyaniline". *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 337, p. 155–161.
Tao, C., Wang, J., Qin, S., Lv, Y., Long, Y., Zhu, H. & Jiang, Z. 2012. "Fabrication of pH-sensitive graphene oxide–drug supramolecular hydrogels as controlled release systems". *Journal of Materials Chemistry*, Vol. 22, p. 24856.
Tepper, G. & Levit, N. 2000. "Polymer Deposition from Supercritical Solutions for Sensing Applications". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 39, p. 4445–4449.
Yoshida, K., Hasebe, Y., Takahashi, S., Sato, K. & Anzai, J. 2014. "Layer-by-layer deposited nano- and micro-assemblies for insulin delivery: A review". *Materials Science and Engineering: C*, Vol. 34, p. 384–392.
Zhao, Y., Wu, W., Chen, J., Zou, H., Hu, L. & Chu, G. (2012). "Preparation of polyaniline/multiwalled carbon nanotubes nanocomposites by high gravity chemical oxidative polymerization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 51, p. 3811–3818.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# SÍNTESE DE MATERIAIS MESOPOROSOS DO TIPO Nb-MCM UTILIZANDO SÓLIDO IÔNICO COMO *TEMPLATE* COM APLICAÇÃO EM IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA

**Iemedelais Bordin**[1]
**Victor De Aguiar Pedott**[1]
**Diego Ivan Petkowicz**[2]
**Diana Finkler**[2]
**João Henrique Zimnoch dos Santos**[3]
**Marcelo Luís Mignoni**[1]
1-Universidade Regional Integrada – URI Campus Erechim
2- Marina Tecnologia
3- Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
bordiniemedelais@hotmail.com
v.a.pedott@gmail.com
diego@marinatecnologia.com.br
diana@marinatecnologia.com.br
00009428@ufrgs.br
mignoni@uricer.edu.br

**Resumo:** *O intuito do seguinte trabalho foi sintetizar materiais mesoporosos modificados com nióbio, com diferentes relações (m/m), utilizando sólido iônico como template. Para isso, no decorrer do trabalho, foram testadas rotas de sínteses a fim de avaliar o melhor desempenho na formação do material para ser utilizado na imobilização enzimática. Materiais contendo em sua estrutura metais de transição substituídos isomorficamente através de um processo de dopagem são chamados de "peneiras redox". Nesse caso, a utilização do nióbio incorporado a estrutura do material mesoporoso do tipo MCM-48, moldado com o líquido iônico 1-cloreto de 1-tetradecil-3-metilimidazólio mostrou-se efetivo na proteção da enzima imobilizada em sua estrutura (CalB). Sendo ela submetida a diversas condições, como estabilidade operacional, de estocagem e térmica.*

***Palavras chave:*** *nióbio; MCM; imobilização; catálise.*

## 1. INTRODUÇÃO

Peneiras moleculares são compostos de óxidos metálicos porosos, podendo ser de diferentes tamanhos de poros e composições. Atuando como suporte, elas oferecem propriedades muito uteis, como áreas superficiais altas, comportamento hidrofóbico ou hidrofílico e interações eletrostáticas, bem como resistência mecânica e química, e isso faz com que elas sejam muito utilizadas para a imobilização enzimática (ALFANI et al., 1994).

As excelentes propriedades químicas e físicas, tais como elevada atividade catalítica e alta estabilidade térmica tornam os silicatos porosos materiais de alto interesse em indústrias, em processos catalíticos, de adsorção ou que envolvam troca iônica (CORONAS, 2010). A partir da década de 90, pesquisadores da Mobil Oil Corporation obtiveram materiais mesoporosos à base de sílica com diâmetro de poros variando de 2 a 50 nm, conhecidos como família M41S (KRESGE et al., 1992).

O tamanho dos poros em materiais mesoporosos está relacionado com a velocidade de difusão. Em poros pequenos, moléculas volumosas têm dificuldades para migrar ao interior do sólido onde está localizada a maior parte dos sítios ativos, podendo comprometer sua capacidade catalítica e capacidade de adsorção. Novos materiais vêm sendo desenvolvidos com estruturas hierárquicas de poros a fim de melhorar as propriedades difusivas dos materiais, fazendo o uso de líquidos e sólidos iônicos (GRECCO et al., 2008).

Líquido iônico é um direcionador de estrutura que tem como finalidade induzir à cristalização de uma estrutura cristalina específica que não poderia ser formada sem sua presença. Ele molda a construção da estrutura, aumenta os limites de espaço de furos microporosos, contribui, através da ligação que são criadas, para a estabilidade do material e torna sua cristalização termodinamicamente possível. Os líquidos iônicos, geralmente, consistem somente de íons,

definidos como sais cujo ponto de fusão é menor do que 100 ºC. Substâncias iônicas líquidas podem ser utilizadas em diferentes campos do conhecimento (CONSORTI, 2001).

Três tipos de peneiras moleculares mesoporosas da família da M41s de silicatos são obtidas através de diferentes rotas de formação. Existem as fases hexagonal (MCM-41), cúbica (MCM-48) e lamelar (MCM-50) (VARTULI, 1998), a preparação desses sólidos

necessita de um molde (template), faz-se o uso de sulfactantes iônicos e um mecanismo de organização iônica. A diferença entre a MCM-48 e a MCM-41 consiste na razão molar surfactante/silício nos géis de preparação (PENA et al., 2001). Meynen e colaboradores têm estudado a MCM-41 devido à área superficial específica superior a 1000 $m^2g^{-1}$ e diâmetro de mesoporos na faixa de 1,5 a 10 nm (MEYNEN, 2009) que podem ser controlados através da escolha do molde (*template*).

Devido a sua estrutura cúbica as propriedades físicas que chamam a atenção da MCM-48 são sua alta área superficial específica de até 1600 $cm^2g^{-1}$, volume de poros específico de até 1,2 $cm^3\ g^{-1}$ e alta estabilidade térmica. As propriedades catalíticas podem ser ajustadas pela incorporação de diferentes metais (titânio, nióbio, alumínio, etc.) na estrutura do MCM-48, o que a torna mais viável como adsorvente em técnicas de separação, cromatografia de fluido supercrítico, ou como suporte de catalisador do que comparada à MCM-41, isso se deve à sua estrutura de poros entrelaçados e ramificados.

A MCM-41 pode ser modificada de forma a melhorar significativamente sua atividade e seletividade catalítica. A modificação de peneiras moleculares, como a MCM-41, através da introdução de metais de transição, dá-se o nome de 'peneiras redox' (PAULINO, 2002). Silicatos são chamados de peneiras redoxes, eles apresentam em sua estrutura metais de transição substituídos isomorficamente através de um processo de dopagem, onde é feita a utilização de géis aquosos contendo fonte dos elementos estruturais (Al, Si, P, etc), fonte dos metais a serem adicionados, um agente mineralizante e o agente direcionador da estrutura. Outro método de modificação é após a síntese, onde é feita a adição do metal de transição em peneiras já preparadas. Um dos maiores problemas deste método é a lixiviação dos sítios ativos durante a reação catalítica.

*Nióbio – Nb*

Um metal raro no mundo, mas abundante no Brasil, considerado fundamental para a indústria de alta tecnologia e cuja demanda tem aumentado nos últimos anos, tem sido objeto de controvérsia e de uma série de suspeitas e informações desencontradas que se multiplicam na internet – alimentando teorias conspiratórias e mitos sobre a dimensão da sua importância para a economia mundial e do seu potencial para elevar o Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Trata-se do nióbio, elemento químico usado como liga na produção de aços especiais e um dos metais mais resistentes à corrosão e a temperaturas extremas. O nióbio, o titânio e o vanádio são alguns dos elementos utilizados na fabricação dos aços microligados, pois possuem uma alta afinidade com o carbono (JÚNIOR, 2012), quando adicionado na proporção de gramas por tonelada de aço, confere maior tenacidade e leveza. A utilização praticamente insubstituível desses materiais em setores estratégicos faz do nióbio um elemento crucial para o desenvolvimento industrial nas próximas décadas (LOPES, 2015).

O Brasil ocupa uma posição mundial dominante como detentor de grandes reservas mundiais, para uma diversificada gama de minerais metálicos e não-metálicos, colocando-se em segundo lugar entre os seis mais importantes países minerais do mundo. O mineral existe no solo de diversos países, mas 98% das reservas conhecidas no mundo estão no Brasil (NOWAK, 1999). O país responde atualmente por mais de 90% do volume do metal comercializado no planeta, seguido pelo Canadá e Austrália. No país, as reservas são da ordem de 842.460.000 toneladas e as maiores jazidas se encontram nos estados de Minas Gerais (75% do total), Amazonas (21%) e em Goiás (3%).

Materiais contendo nióbio apresentam potencial de formação de grupos altamente oxidantes conhecidos como sítios peroxos, na presença de $H_2O_2$. Esses materiais são doadores de oxigênio para substratos orgânicos em meio aquoso e estudos com nióbio em silicatos mesoporosos aplicados em reações de oxidação ainda são pouco relatados na literatura (GALLO, 2005).

Estudos comprovam a efetividade do nióbio adicionado em materiais voltados à área de catalise. Franklin J. Méndez e colaboradores realizaram um estudo sobre o efeito da adição de nióbio aos catalisadores CoMo/MCM-41 e NiMo/MCM-41 sobre suas características e desempenho na hidrodessulfurização do dibenzotiofeno. Espécies metálicas (Nb, Mo, Ni ou Co) foram depositadas por impregnação sucessiva utilizando soluções aquosas de sais metálicos, posteriormente, os materiais foram analisados por Difração de raios X, fisissorção de $N_2$, espectroscopia FT-Raman, espectroscopia de fotoelétrons de raios X, UV-visível, espectroscopia de refletância difusa e microscopia eletrônica de varredura.

O suporte MCM-41 foi sintetizado à temperatura ambiente. Os resultados mostram que a incorporação de pequenas quantidades de Nb (3-5% em peso) aumentou a atividade catalítica de catalisadores na hidrodessulfurização de dibenzotiofeno e afetaram sua seletividade (MÉNDEZ et al., 2017).

Recentemente, novos catalisadores heterogêneos foram obtidos pela modificação de zeólitas MWW (MCM-22 e

MCM-56) com niobiosilicato, conseguidos por dois métodos diferentes. Onde a principal diferença entre os métodos era a concentração de uma base utilizada durante a modificação, tempo e temperatura em que a modificação era realizada, assim como o teor de água nos catalisadores.

As zeólitas foram utilizadas como catalisadores ativos na oxidação de ciclohexeno em fase líquida com $H_2O_2$ e demostraram-se úteis também na segunda execução. O nióbio desempenhou um papel de ativador de $H_2O_2$ e foi crucial para a descoloração efetiva do azul de metileno com o uso de peróxido de hidrogênio (WOJTASZEK-GURDAK, 2018).

Materiais mesoporosos modificados com nióbio também apresentam tolerância à água e foram reutilizáveis para acetalização de glicerol, onde foi relatado a acetalização do glicerol em acetona para resultar em um produto, o solketal (4-hidroximetil-2,2-dimetil-1,3-dioxolano), um composto oxigenado útil como aditivo químico e combustível para gasolina, diesel e biodiesel (FELICZAK-GUZIK, 2019). Além disso, as propriedades catalíticas deste metal ainda não foram totalmente exploradas.

No presente trabalho, são estudados materiais à base de silicatos mesoporosos com alta área superficial modificados com íons Nióbio ($Nb^{+5}$). Para testar a efetividade do suporte, é feita a imobilização enzimática da Candida antartica (CalB), submetendo o suporte com enzima à condições variadas, como de estabilidade operacional, térmica, de estocagem.

A Lipase Candida antartica (CalB) possui diversas aplicações industriais, como em detergentes, indústria orgânica, na indústria alimentícia e de químicas finas. As lipases estão entre as enzimas mais utilizadas em biocatálise. Estas enzimas são em geral estáveis e ativas em solventes orgânicos e podem ter ampla especificidade para substratos (TSUKAMOTO, 2006). O objetivo do estudo é o desenvolvimento de materiais mesoporosos na presença de nióbio utilizando sólidos iônicos como *templates*, feito isso, aplicá-los na imobilização enzimática.

## 2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

### 2.1. Síntese do líquido iônico

O sólido iônico utilizado no projeto foi obtido via rota clássica de literatura (MIGNONI, 2012), onde foi empregado posteriormente na síntese dos materiais mesoporosos na presença do nióbio.

#### 2.1.1 Síntese do sólido iônico cloreto de 1-tetradecil-3-metilimidazólio [$C_{14}$MI]Cl

Cloreto de 1-tetradecil-3-metilimidazólio, [$C_{14}$MI]Cl foi sintetizado inicialmente utilizando o metilimidazol (8,5 mL, 8,76 g, 106 mmol) e o 1-clorotetradecano, onde foram adicionados em um balão de 50 ml. A reação ficou sob agitação e a uma temperatura de 120 °C por 48 horas. Após, o balão foi resfriado até temperatura ambiente e então, foram adicionados 30 mL de acetato de etila e a solução ficou sob agitação magnética por 5 minutos. Feito isso, o balão foi levado ao freezer para a precipitação do [$C_{14}$MI]Cl. A purificação se deu com acetato de etila (3 porções de 30 mL), antes do acetato de etila ser adicionado ao balão, a solução foi aquecida para melhor dissolução do sólido iônico no solvente e, posteriormente, foi esperado a solução entrar em equilíbrio térmico com o ambiente. Ao término, o sólido iônico foi seco sob pressão reduzida. Para esse sólido iônico obteve-se um rendimento de 62%. Abaixo, na Fig. 1, está presente a estrutura representativa do 1-tetradecil-3-metilimidazólio.

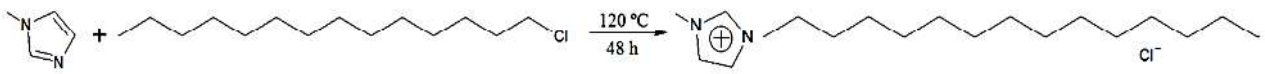



Figura 1. Representação do sólido iônico Cloreto de 1-tetradecil-3-metilimidazólio.

Inicialmente, o 1-tetradecil-3-metilimidazólio [$C_{14}$MI]Cl, foi aplicado às sínteses da MCM-48 pura, com Nióbio e também nos materiais imobilizados. Foram realizadas quatro sínteses com diferentes relações molares Si/Nb para cada MCM, sendo elas: Si/Nb=1, Si/Nb=20, Si/Nb=50 e Si/Nb=80.

### 2.2. Síntese do material mesoporoso

#### 2.2.1. Síntese da MCM-48 com nióbio em diferentes relações Si/Nb

As sínteses dos materiais mesoporosos foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Kumar et al (2001) com adaptações, sendo que foi alterado o *template* utilizado e também o método de lavagem. Para a síntese do material mesoporoso do tipo MCM-48, inicialmente foram utilizados 2,4g do sólido iônico (1-tetradecil-3-metilimidazólio), estes foram diluídos em água deionizada (50 mL), sob agitação magnética. No meio reacional foram

adicionados 50 mL de etanol absoluto e 12 mL de hidróxido de amônio ($NH_4OH$) onde o sistema ficou em agitação durante 10 minutos. Em seguida, acrescentou-se 3,4 g de tetraetilortosilicato (TEOS) e a quantidade variável de nióbio (para a síntese Si/Nb=1 foi adicionada a massa de 6,12 g de Oxalato Amoniacal de Nióbio). A reação ficou sob agitação magnética durante 2 horas.

Para uma melhor comparação de resultados, outras relações (mol/mol) de Si/Nb foram feitas. Seguindo a mesma metodologia da relação Si/Nb=1, porém mudando a massa adicionada de nióbio. A Tabela 1 apresenta a massa de nióbio na reação a fim de obter diferentes relações (mol/mol) para a MCM-48.

Tabela 1. Quantidade de massa (gramas) de nióbio para diferentes relações Si/Nb na MCM-48.

| *Relação Si/Nb (mol/mol)* | *Massa de Nb (g)* |
|---|---|
| 20 | 0,306 |
| 50 | 0,122 |
| 80 | 0,076 |

### 2.2.2. Imobilização enzimática em material mesoporoso do tipo MCM-48 com a relação Si/Nb=20

Para a imobilização enzimática no material MCM-48 relação Si/Nb=20 a síntese se deu da seguinte forma: i) Em um béquer de Teflon de 600 mL foram adicionados 1,2 g de $C_{14}$ em 25 mL de água deionizada e esperada uma homogeneização do meio. ii) 25 mL de etanol absoluto e 6 mL de $NH_4OH$ e deixado em agitação por 10 minutos. iii) A fonte de alumínio se deu pela adição de 1,7 g de Tetraethyl Orthosilicate (TEOS) na reação e a fonte de nióbio deu-se pela adição de 0,153 g de Oxalato amoniacal de Nióbio, correspondendo à relação molar 20:1 Si/Nb. Feito isso, utilizou-se 0,5 g da enzima lipase Cal B que foi imobilizada. A reação ficou sob agitação magnética durante 2 horas. Em seguida, foi lavada até pH 9 e seca a temperatura ambiente.

Após a imobilização da enzima CalB no suporte de MCM-48 com relação Si/Nb=20, foi feita a determinação da atividade de esterificação. A atividade de esterificação (AE) foi determinada nos suportes imobilizados, onde a foi quantificada através da reação utilizando ácido oleico e álcool etílico na razão molar de 1:1 (mistura padrão), conforme descrito na literatura (FERRAZ et al., 2012).

A reação foi iniciada pela adição da enzima imobilizada (aproximadamente 0,1 g) em 5 mL da mistura padrão. A reação foi conduzida em frascos de vidro fechados a 40 °C, em agitador orbital a 160 rpm, durante 40 min. Alíquotas de 500 µL foram retiradas do meio reacional em triplicata. A cada amostra foram adicionados 15 mL de uma solução de acetona-etanol (1:1) (v/v) para inativar a reação. A quantidade de ácido oleico consumido foi determinada por titulação com NaOH 0,05 mol L-1 até o meio atingir pH 11. Os ensaios dos brancos das amostras continham 500 µL da mistura padrão e 15 mL da solução de acetona-etanol.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Caracterização do material

Após as sínteses, os sólidos resultantes foram encaminhados para análise por difração de raios X (DRX). Os resultados para as diferentes relações estão apresentados na Fig. 2, sendo (a) Si/Nb=1, (b) Si/Nb =20, (c) Si/Nb =50 e (d) Si/Nb =80 referente à MCM-48.

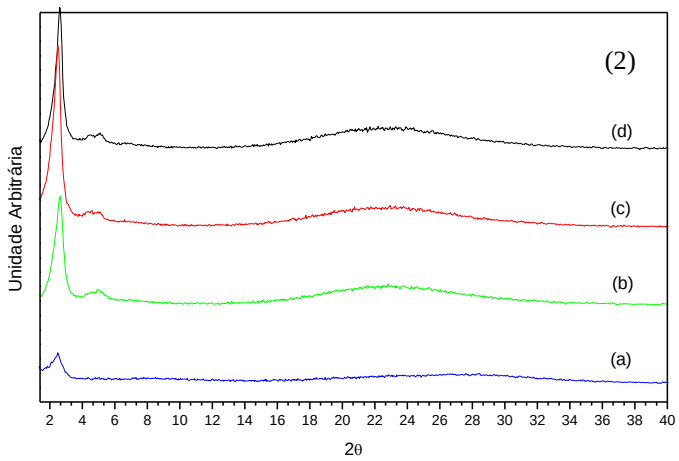



Figura 2. Difratogramas de raiso X dos sólidos obtidos: (a) MCM-48 Si/Nb=1; (b) Si/Nb=20; (c) Si/Nb=50 e (d) Si/Nb=80

Observando a Fig. 2, é possível verificar que a relação Si/Nb influenciou na cristalinidade do sólido obtido. Nota-se que na relação Si/Nb=1, a grande quantidade de nióbio interferiu na reação, causando a não formação da estrutura esperada, impedindo a formação da rede cristalina característica desta MCM, em sua totalidade, pois o pico característico do material mesoporoso do tipo MCM-48 é observado entre 2-3 graus 2 theta, porem, com cristalinidade muito baixa. Já nas sínteses seguintes, onde a quantidade de nióbio foi sendo reduzida, a obtenção do sólido mesoporoso do tipo MCM-48 mostrou-se efetiva. Nas análises obtidas por DRX das relações Si/Nb=20, Si/Nb=50 e Si/Nb=80 o resultado é muito satisfatório, pois o aparecimento dos picos característicos do material são bem intensos o que comprovam a formação da MCM-48 com elevada cristalinidade (NASCIMENTO, 2014).

Para fazer uma avaliação perante a imobilização enzimática nestes materiais (suportes), escolheu-se inicialmente a relação Si/Nb=20 por conter maior quantidade de Nb presente).

### 3.2. Medida de atividade do material mesoporoso do tipo MCM-48 com relação Si/Nb=20

Para uma melhor comparação, foram feitas medidas de atividades, determinada em reações de esterificação (ácido oleico e etanol, na razão molar de 1:1) somente dos suportes, apenas com a relação Si/Nb=20, onde se obteve 150,78 U de atividade para a MCM-48. Em seguida, deu-se início a testes submetendo os derivados imobilizados com a enzima CalB a diferentes condições.

### 3.3. Estabilidade operacional

A estabilidade operacional dos derivados imobilizados (Nb/MCM-48 + enzima CalB), foi determinada em reações de esterificação (ácido oleico e etanol, na razão molar de 1:1) com a reutilização da mesma, até que a atividade cair pela metade do valor inicial, ou seja, quando atingiu-se o tempo de meia vida. Neste estudo, empregou-se a massa de MCM-48 imobilizada (0,1 g para cada alíquota) imobilizada. Foram realizadas bateladas de 40 min, na temperatura de 40 °C e agitação de 160 rpm. Após cada batelada, o meio reacional (fase líquida) foi removido com o auxílio de uma pipeta, mantendo a fase sólida (MCM-48 imobilizada).

Battiston, 2017 estudou a imobilização da enzima CalB em MCM-48 com o sólido iônico [$C_{14}$MI]Cl, os resultados demonstram que é possível a reutilização por até 9 ciclos (BATTISTON, 2017).

As quantificações de atividade enzimática (%) referente à MCM-48 imobilizada e modificada com nióbio pelo número de reciclos está representado na Fig. 3.

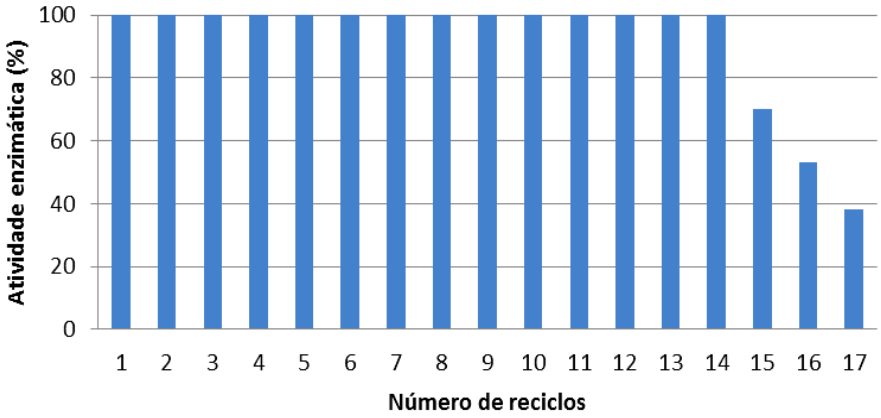



Figura 3. Medida de atividade da enzima CalB em MCM-48 relação Si/Nb=20

A atividade inicial foi de 324,64 U, mantendo 100% de atividade até o 14º reciclo. A partir de então, o 15º obteve uma atividade de 70%, o 16° reciclo um valor de 53% e o 17° reciclo uma valor de 38,15% em relação a atividade inicial. Onde deu-se fim aos reciclos, atingindo o praticamente o tempo de meia-vida do derivado imobilizado no 16º reciclo.

### 3.4. Estabilidade de estocagem

A estabilidade de estocagem dos derivados imobilizados, foi realizada em temperatura entre 20-25°C e em refrigeração entre 5-7°C. Os resultados são calculados em porcentagem da atividade residual, a partir da razão da porcentagem da atividade de esterificação no tempo inicial. Até o presente momento, 5 meses após o período de imobilização a atividade do derivado imobilizado Nb/MCM-48 se mantém em 100%, tanto em temperatura ambiente, quanto em refrigeração. A atividade medida manteve-se em 324,64 U e em temperatura ambiente, 302,6 U.

### 3.5. Estabilidade térmica

A estabilidade térmica da MCM-48 imobilizada relação Si/Nb = 20, deu-se pela reação de esterificação em amostras nas temperaturas de 40, 60 e 80 °C durante 40 minutos e agitação de 160 rpm em uma incubadora Shaker. Os resultados das medidas quantificadas de atividade em diferentes temperaturas estão representados na Fig. 4.

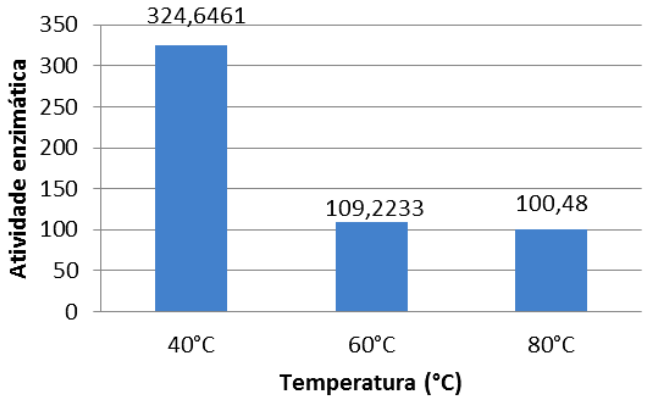



Figura 4. Atividade enzimática em MCM-48 imobilizada com Si/Nb=20 em diferentes temperaturas.

Observando a Fig. 4, é possível verificar que a melhor temperatura de utilização do derivado imobilizado Nb/MCM-48 é realmente em 40$^{o}$C como já relatados em trabalhos de literatura (REIS, 2009).

## 4. CONCLUSÃO

Após a realização deste trabalho, pode-se concluir que a utilização de Nb na síntese de materiais mesoporosos do tipo MCM-48 é obtida com sucesso para relações Si/Nb maiores que 1. Com outras relações molares, com uma menor quantidade de nióbio houve formação da estrutura da MCM-48 com elevada cristalinidade.

O material obtido apresentou-se como excelente suporte para imobilização da enzima CalB. Foi possível um alto número de reúsos, mantendo a atividade enzimática elevada em comparação a livre. A estocagem e estabilidade térmica também mostraram-se favoráveis para com estes derivados imobilizados. Sendo assim, o uso do nióbio nos suportes mesoporosos abre uma nova rota de estudo para estes pares de materiais, Nb+enzimas.

## 5. AGRADECIMENTOS

CAPES, FAPERGS, CNPq e a URI-Erechim.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, A. Imobilização de lipase de Candida Antarctica B (calb) in situ em espuma flexível de poliuretano de diferentes densidades. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS - UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES – URI, Erechim, 2015.

Battiston, Cátia Santin Zanchett et al. Câmpus de Erechim Departamento de Ciências Agrárias PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS. 2017.

Bojrup, M.; Chem. Mater., 9, 2066-2070, 1997.

Consorti C. S.; Souza, R. F.; Dupont, J. Quím. Nova vol.24 no.6 São Paulo Nov./Dec. 2001.

Coronas, J., Chemical Engineering Journal, 156 236-242, 2010.

F. Alfani, L. Cantarella, M. Cantarella. A. Gallifuoco and C. Colella, Stud. Surf. Sci. Catal. 84 (1994) 1115. (b) J.M. Feliczak-Guzik, A. and Nowak, I. "Application of glycerol to synthesis of solvo-surfactants by using mesoporous materials containing niobium." *Microporous and Mesoporous Materials* 277: 301-308, 2019.

Ferraz, L. R; Oliveira, D. S.; Silva, M. F.; Rigo, E.; Di Luccio, M.; Oliveira, J. V.; Oliveira, D.; Treichel, H.; Biocatal. Agric. Biotechnol. 2012, 1, 243.

Gallo, Jean Marcel Ribeiro. "Sintese e caracterização de [Nb]-MCM-41 e NbxOy (OH) z-montmorilonita e aplicações em catalise redox e acida." 2005.

Grecco, S. T. F., Nobre, P. S. S., Urquieta-González, E. A., Rangel, M. C.,. "Em Nanoporous Materials: Proceedings of the 5th international Symposium." Sayari, A.; Jaroniec, M., eds., *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.: New Jersey*, p 599, 2008.

Júnior, Rui Fernandes P. "Nióbio." *DNPM–Sumário Mineral*, 2012.

Kresge, C.T.; Leonowicz, M.E.; Roth, W. J.; Vartuli, J. C.; Beck, J. S.; Nature 559 710, 1992.

Kumar, D. et al. MCM-41, MCM-48 and related mesoporous adsorbents: their synthesis and characterisation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 187-188, p. 109–116, 2001.

Lopes, O. F., V. R. Mendonça, F. B. F. Silva, E. C. Paris, and C. Ribeiro. "Óxidos de nióbio: uma visão sobre a síntese do Nb2O5 e sua aplicação em fotocatálise heterogênea." *Química Nova* 38, no. 1 (2015): 106-117.

Méndez, F. J., Oscar E. Franco-López, Bokhimi, X.. Solís-Casados, D. A. Escobar-Alarcón, L., and Klimova, T. E. "Dibenzothiophene hydrodesulfurization with NiMo and CoMo catalysts supported on niobium-modified MCM-41." *Applied Catalysis B: Environmental* 219: 479-491, 2017.

Meynen, V.; Cool, P.; Vansant, E. F.; *Microporous Mesoporous Mater*., 125, 170, 2009.

Mignoni, M.L. Zeólitas obtidas com líquidos iônicos como direcionadores de estrutura: síntese e reatividade. *Tese (doutorado em Química)* - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Nascimento, A. R. et al. Síntese e caracterização de materiais mesoporosos modificados com níquel para a captura de CO2. Cerâmica, v. 60, n. 356, p. 482-489, 2014.

Nowak, I.; Ziolek, M.; Chemical Review, 99 (1999) 3603-3624.

Paulino, I.; Studies in Surface Science and Catalysis, 141 93-100, 2002.

Peña, M. L.; Kan, Q.;Corma, A.; Rey, F. Syntesis of Cubic Mesoporous MCM-48. Materials from the Sytem SiO2: CTAOH/Br: H2O. Micropor. Mesopor. Mater., v.44-45, p. 9-16, 2001.

Reis, Joel Savi dos. Resolução cinética enzimática de hidroxiésteres propargílicos: uma via de obtenção de moléculas bioativas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009.

Tsukamoto, Junko et al. Esterificação enzimática direta de carboidratos com ácido acrílico em meio orgânico. 2006.

Vartuli, J. C. et al. The synthesis and properties of M41S and related mesoporous materials. In: *Synthesis.* Springer, Berlin, Heidelberg. p. 97-119, 1998.

Wojtaszek-Gurdak, A; Martyna Zielinska, and Ziolek, M. "MWW layered zeolites modified with niobium species-Surface and catalytic properties." *Catalysis Today*, 2018.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA E CARACTERIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DO MALTE

**Igor Frozza**
**Victor De Aguiar Pedott**
**Leonardo Zill**
**Eunice Valduga**
**Juliana Steffens**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Campus Erechim
igorfrz@hotmail.com
v.a.pedott@gmail.com
leozill1398@gmail.com
veunice@uricer.edu.br
julisteffens@uricer.edu.br

***Resumo.*** *A cevada é um grão utilizado principalmente na produção de cerveja, para que sua aplicação seja efetiva, o mesmo necessita passar por um processo de malteação, que nada mais é que a germinação e ativação de enzimas que fazem a conversão de amidos e proteínas em açucares e aminoácidos, que são materiais essenciais na fabricação de cervejas, após essa conversão o processo é interrompido, para que todo o açúcar fique disponível para a conversão alcoólica. A granulometria do malte empregado na fabricação da cerveja tem grande influência na etapa de mosturação do malte nas propriedades finais do mosto, já que as diferentes granulometrias alteram as propriedades químicas do grão, para melhor entendimento da influência do tamanho de partícula nas propriedades químicas, grãos de malte de cevada foram submetidos a moagem e peneiramento, e caracterização das frações obtidas após o peneiramento (10 a 120 mesh) em termos de índices de cor (L*, a*, b*, C* e $H_{ab}$), densidade, umidade, minerais totais e teores de $N_2$, K, Fe e Ca . As partículas de malte tipo Pilsen apresentaram diâmetros médios de Sauter de 0,337 mm, diâmetro superficial de 1,689 mm e volumétrico de 0,987 mm.*

***Palavras-chave:*** *Malte; Granulometria; peneiramento; minerais; proteínas.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os grãos de cevada podem ter diferentes composições químicas dependendo das condições de plantio, de modo geral, a cevada contém de 65-68% de amido, 10-17% de proteínas, 4-9% de β-Glucano, 2-3% de lipídios livres e 1,5-2.5% de minerais (Czuchajowska et al., 1998; Izydorczyk et al., 2000; Quinde; Ullrich; Baik, 2004). O tamanho dos grãos de cevada tem grande influência no processo de malteação, pois grãos com menor tamanho geram menores quantidades de β-glucano, tornando mais fácil a hidrolise das moléculas do amido pelas enzimas (Baik; Ullrich, 2008).

O malte nada mais é que um grão no qual sofreu o processo de malteação, neste processo o grão germina ativando enzimas que fazem a conversão de amidos e proteínas em açucares e aminoácidos, após a conversão, o processo é interrompido para que os açucares e aminoácidos sejam utilizados (Bianca; Moura, 2018; Lizarazo, 2003).

O tamanho de partícula tem grande influência nas propriedades físico-químicas dos grãos, pois, uma menor granulometria gera um aumento na área superficial por unidade de volume da amostra, tal aumento na área superficial tem grande influência na utilização do malte para fabricação de cerveja, por exemplo, já que uma maior área superficial aumenta a eficiência da enzima σ-amilase (Al-Rabadi; Gilbert; Gidley, 2009; de; Gomez; Rosell, 2013).

Processos que não seguem um padrão na granulometria dos grãos sofrem de grande diversidades no produto final, não só nas propriedades químicas, mas também em propriedades como como dureza, cor, porosidade e textura do produto (Baik; Ullrich, 2008; de; Gomez; Rosell, 2013).

Tamanhos e dimensões dos materiais são determinados através de análises granulométricas, que, independente da técnica utilizada, pode ser correlacionado o volume, massa e número de partículas. Os resultados obtidos de uma

análise granulométrica são tratados de maneira estatística, para que seja possível determinar parâmetros de estudo (Rodrigues; Aguiar; Thompson, 2011; Rodrigues, 1987).

Para melhor visualização da distribuição granulométrica do material a ser estudado se torna necessária a utilização de modelos estatísticos, relacionando o tamanho das partículas com a massa do material. Três modelos são utilizados hoje em dia, são eles: Rosin, Rammler e Bennet (RRB); Gates, Gaudin e Schumann (GGS) e Log-Normal e sigmoide (Rodrigues; Aguiar; Thompson, 2011).

Tendo em vista e influência do tamanho de partícula nas propriedades físico-químicas dos cereais, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a distribuição granulométrica do malte, bem como caracterizar as frações obtidas após o peneiramento (10 a 120 mesh) em termos de índices de cor (L*, a*, b*, C* e Hab), densidade, umidade, minerais totais e teores de $N_2$, K, Fe e Ca.

## 2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

### 2.1 Moagem do malte

Inicialmente, foram moídos 200 g de malte de cevada, em moinho de martelos (MARCONI modelo MA 340), essa etapa de moagem consiste em romper o malte em partículas de menor granulometria para posterior processo de peneiramento.

### 2.2 Peneiramento

Após a moagem dos grãos de malte, a amostra foi submetida ao processo de peneiramento, na qual foi utilizado nove peneiras de diferentes aberturas (120 Mesh; 80 Mesh; 60 Mesh; 45 Mesh; 40 Mesh; 35 Mesh; 30 Mesh; 20 Mesh; 18 Mesh; 10 Mesh). A amostra de malte (200g) foi disposta na peneira de maior abertura, seguindo assim para as peneiras com o menor abertura, até a passagem por todas as nove peneiras. Tendo assim uma quantidade retida em cada uma das peneiras, onde a partir de tais massas retidas e cumuladas foram realizados histogramas de distribuição de frequência retida e cumulada.

A partir do valor das massas retidas nas peneiras determinou-se o diâmetro médio de Sauter ($D_{ps)}$, diâmetro médio da área superficial ($D_{ms)}$ e diâmetro médio volumétrico ($D_{mv)}$, representados nas Equações 1, 2 e 3 respectivamente:

$$D_{ps} = \frac{1}{\sum \frac{xi}{di}} \tag{1}$$

$$Dm_s = \sqrt[2]{\frac{\left(\sum \frac{xi}{di}\right)}{\left(\sum \frac{xi}{di}\right)^3}} \tag{2}$$

$$Dm_v = \sqrt[3]{\frac{1}{\left(\sum \frac{xi}{di}\right)^3}} \tag{3}$$

Onde: xi é a fração retida e di é o diâmetro médio.

### 2.3 Caracterização das partículas

#### 2.3.1 Índices de cor

Foi utilizado o colorímetro (Conika Minolta CN-5) para determinar a cor das amostras. Primeiramente, o equipamento foi calibrado utilizando uma amostra padrão, e em seguida, foi efetuada a leitura das amostras em triplicatas, obtendo valores de L*, a* e b* medidos no colorímetro, a partir destes, foi possível determinar a Cromaticidade C* e o ângulo $h_{ab}$.

### 2.3.2 Densidade de sólidos irregulares

Para o cálculo da densidade das amostras foi realizado pelo método de deslocamento de volume em uma proveta de 100mL contendo água, tendo seu volume de água conhecido, e com o auxílio de um funil de papel seco foram adicionadas quantidades específicas da amostra, sendo o processo repetido para as 9 amostras, respectivamente. Em seguida, observando-se o novo volume da proveta, comparado ao volume inicial foi possível quantificar o valor da densidade de cada uma de nossas 9 amostras.

### 2.4.3 Umidade - Método de secagem por radiação infravermelho

O método de secagem por radiação infravermelho é mais efetivo, pois envolve penetração de calor dentro da amostra, diminuindo o tempo de secagem em até 3 vezes. O método consiste na desidratação utilizando uma lâmpada de radiação infravermelha de 250 a 500 Watts, cujo filamento desenvolve uma temperatura próxima a 700°C. Inicialmente, foram pesada as amostras em balança (MARCONI modelo Marte ID200), e após o mesmo, realizada secagem das amostras. Devido a diferença de peso, o equipamento nos fornece o teor de umidade presente na amostra. Os procedimentos foram realizados em duplicatas para diminuir a chance de erro.

### 2.4.4 Minerais totais e componentes minerais

Inicialmente, os cadinhos de porcelana foram aquecidos em forno mufla (LAVOISIER) durante 30 min com temperatura de 550 °C, para posterior pesagem. Em virtude da baixa quantidade de amostra obtida, foram utilizadas apenas 4 amostras (B3, B4, B5 e B6), destas foram pesadas aproximadamente 3 g de cada amostra, sendo a amostra B6 pesados somente 0,441 g. A carbonização ocorreu em chapas de aquecimento seguidas por calcinação em mufla durante 9 h a temperatura de 550°C. Após esse período de tempo os cadinhos foram colocados em dessecador e posteriormente pesados.

As cinzas (material inorgânico) que restaram no cadinho, foram diluídas com ácido nítrico 1 M e filtradas (papel filtro whatmann quantitativo) em balão volumétrico de 50 ml, fazendo-se sucessivas lavagens do cadinho com o ácido, até completar o volume do balão. Tais soluções foram dispostas em 4 frascos de plástico para posterior análise.

Utilizou-se o espectrofotômetro de absorção atômica em chama (VARIAN SPECTRA AA-55) para quantificar o teor mineral de cada componente. Os cálculos dos teores dos minerais nas amostras foram baseados em uma curva de calibração obtida com soluções padrões. Foram determinados os teores de Potássio (K), Ferro, (Fe) e Cálcio (Ca) minerais de maior importância para o estudo.

Para quantificação de Nitrogênio empregou-se o método de Kjeldahl. Inicialmente, colocou-se 1 g de amostra em tubo de Kjeldahl, com posterior adição de pastilha catalisadora (3,5 g de Sulfato de Potássio e 3,5 mg de Selênio), algumas pérolas de vidro e 12 ml de ácido sulfúrico. Em seguida a amostra foi disposta em um digestor Kjeldahl (TECNAL TE-007MP) para aquecimento em rampa:105°C/15 min, 210°C/45 min, 350°C/60 min, 420°C/120 min.

Após a completa clarificação do material e resfriamento do tubo realizou-se a etapa de destilação empregando um sistema destilação (TECNAL TE-0364), onde inicialmente, adicionou-se 75 ml de água destilada e 50 ml de hidróxido de sódio a 40% em tubo Kjeldahl. Posteriormente, em um erlenmeyer foram colocados 25 ml de solução receptora do destilado de ácido bórico 4%. Realizou-se a destilação até recolher 150 ml de destilado. Em seguida, realizou-se a titulação com solução de ácido clorídrico 0,1 M, até o ponto de viragem (coloração rosa) da nossa solução. A partir do volume gasto na bureta, foi possível quantificar o teor de nitrogênio da amostra, que consequentemente representa as proteínas contidas no malte.

A Equação 9 foi utilizada para encontrar o teor de nitrogênio da amostra.

$$\text{Nitrogênio (\%)} = \frac{(14{,}01 \times V \times N)}{(P \times 10)} \qquad (9)$$

Onde: V = volume (mL) gasto de HCl a 0,1 N na titulação; N = normalidade da solução padronizada 0,1 N; P = peso da amostra (g). Sendo 14,01 o peso molecular do Nitrogênio.

### 2.4.5 Proteína

Para quantificar a porcentagem de proteína presente na amostra, empregou-se a Equação 10.

$$\text{Proteína (\%)} = \text{Nitrogênio} * f \qquad (10)$$

Onde: f = consiste no fator de conversão de nitrogênio para proteína e que dependerá do alimento, no caso da soja, este equivale à 6,25.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Distribuição granulométrica e diâmetro médio de partícula

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos das frações retidas e cumuladas após o peneiramento das amostras de malte.

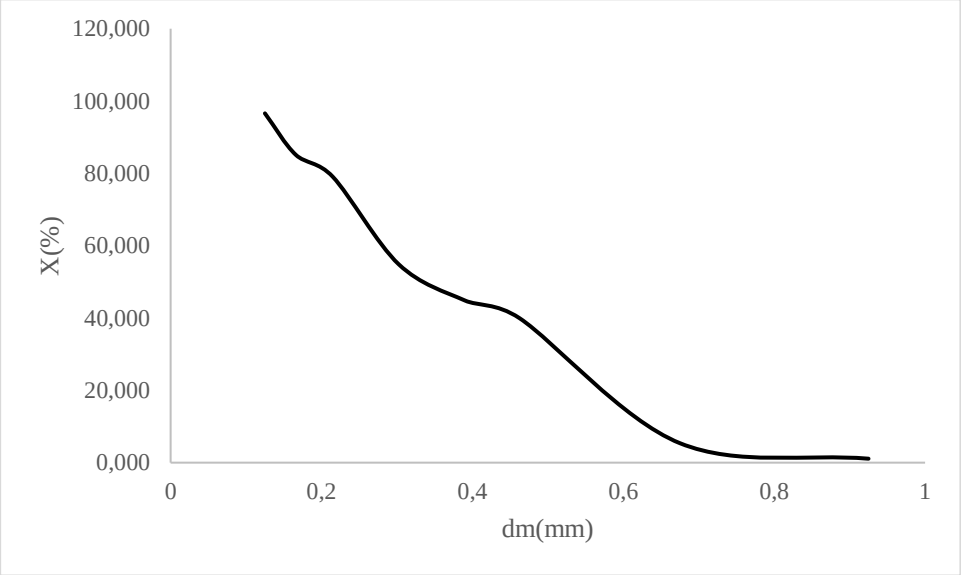
**Tabela 1 -** Frações retidas e cumuladas após o peneiramento das amostras de malte.

| N° Tamis | Mesh (mm) | _-Di (mm) | _+Di (mm) | Dm (mm) | Peso retido (g) | xi (% retido) | Xi (% Passa) | Xi/100 | Xi/di | (Xi/di)^3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 0,1250 | n.d.a | 0,1250 | 0,1250 | 6,5850 | 3,4060 | 96,5940 | 0,0341 | 0,2725 | 0,0202 |
| 8 | 0,1800 | 0,1520 | 0,1800 | 0,1660 | 22,1960 | 11,4806 | 88,5194 | 0,1148 | 0,6916 | 0,3308 |
| 7 | 0,2500 | 0,1800 | 0,2500 | 0,2150 | 11,7380 | 6,0713 | 93,9287 | 0,0607 | 0,2824 | 0,0225 |
| 6 | 0,3550 | 0,2500 | 0,3550 | 0,3025 | 46,8360 | 24,2253 | 75,7747 | 0,2423 | 0,8008 | 0,5136 |
| 5 | 0,4250 | 0,3550 | 0,4250 | 0,3900 | 19,2670 | 9,9656 | 90,0344 | 0,0997 | 0,2555 | 0,0167 |
| 4 | 0,5000 | 0,4250 | 0,5000 | 0,4625 | 9,4960 | 4,9117 | 95,0883 | 0,0491 | 0,1062 | 0,0012 |
| 3 | 0,8500 | 0,5000 | 0,8500 | 0,6750 | 66,8010 | 34,5519 | 65,4481 | 0,3455 | 0,5119 | 0,1341 |
| 2 | 1,0000 | 0,8500 | 1,0000 | 0,9250 | 8,3080 | 4,2972 | 95,7028 | 0,0430 | 0,0465 | 0,0001 |
| 1 | 2,0000 | 1,0000 | fundo | fundo | 2,1080 | 1,0903 | 98,9097 | 0,0109 | fundo | fundo |
| Total | | | | | 193,3350 | 100 | fundo | 1 | 2,9674 | 1,0393 |

Pode-se observar que a maior quantidade de partículas se encontram entre as amostras 5 (0,425 mm) e 6 (0,355 mm), sendo estes diâmetros consideradas tamanhos de partículas ideais para extração das proteínas do malte durante processos industriais (Gutkoski; Antunes; Roman, 2009). Com base nos dados mencionados acima e nas equações matemáticas descritas foi possível a obtenção dos diâmetros médios de Sauter de 0,337 mm; superficial de 1,689 mm; e volumétrico de 0,987 mm.

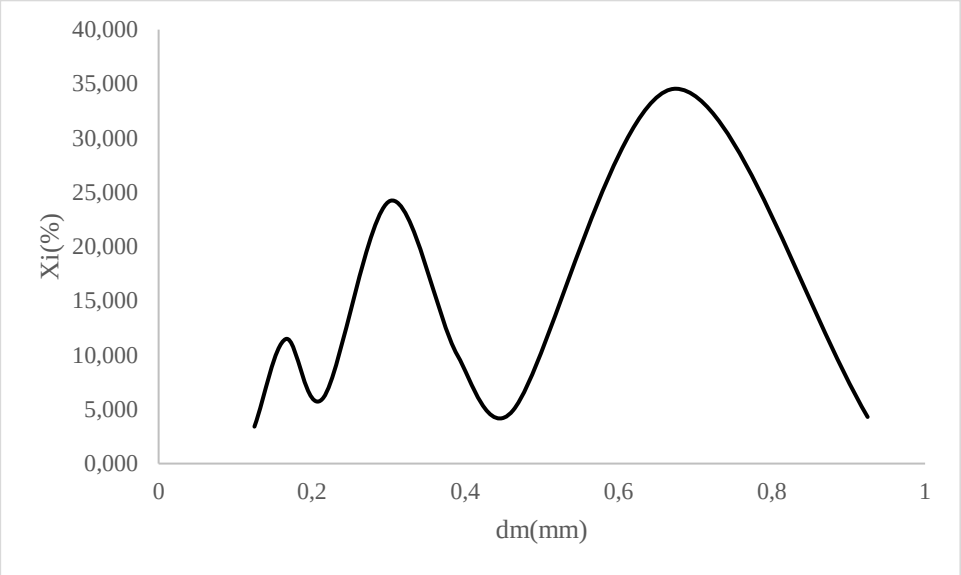
Para a análise da distribuição de frequência foram plotados valores do diâmetro médio de partícula acumuladas (X) e diâmetros de partícula retidos (xi) pelo diâmetro médio (dm) como disposto na Figura 1 e 2.

**Figura 1 -** Distribuição de frequência da fração acumulada




Através dos dados da Tabela 1 e a distribuição de frequência (Figura 1), foi possível observar que a maior quantidade de partículas está concentrada entre os diâmetros de 0,303 mm e 0,390 mm.

**Figura 2:** Distribuição de frequência da fração retida




Pode-se observar na Figura 2 que existem as maiores concentrações de partículas ficaram nos valores de 0,303mm (25%) e 0,675mm (35%).

### 3.2 Caracterização das partículas

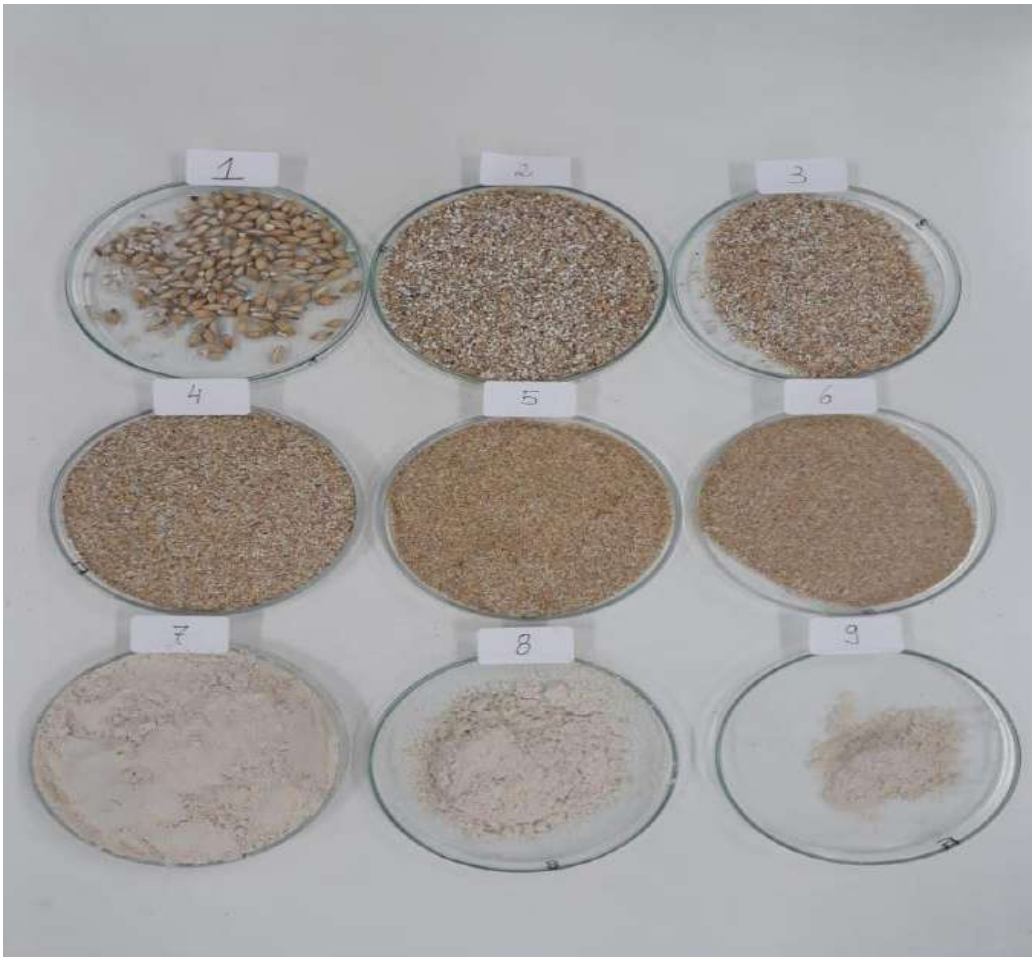
Com auxílio de um Colorímetro, foram determinadas as coordenadas de cor relacionadas para cada amostra analisada. A Tabela 2 apresenta os valores obtidos das análises da cromaticidade e ângulo $h_{ab.}$

**Tabela 2 -** Distribuição de valores dos índices de cor (L*, a*, b*), cromaticidade e ângulo $H_{ab.}$

| Di(mm) | L* | a* | b* | Cromaticidade | (b*/a*) | Ângulo Hab (°) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,125 | 37,043 | 4,108 | 14,010 | 14,600 | 3,410 | 73,658 |
| 0,166 | 38,590 | 3,120 | 10,703 | 11,148 | 3,430 | 73,748 |
| 0,215 | 37,923 | 3,683 | 11,800 | 12,361 | 3,204 | 72,666 |
| 0,303 | 38,520 | 3,496 | 11,700 | 12,211 | 3,347 | 73,364 |
| 0,390 | 38,400 | 4,046 | 13,610 | 14,199 | 3,364 | 73,444 |
| 0,463 | 37,420 | 3,687 | 12,660 | 13,186 | 3,434 | 73,763 |
| 0,675 | 63,546 | 1,950 | 10,420 | 10,601 | 5,344 | 79,400 |
| 0,925 | 54,930 | 2,456 | 9,260 | 9,580 | 3,770 | 75,146 |
| 1,500 | 48,720 | 2,223 | 8,750 | 9,028 | 3,936 | 75,745 |

Com auxílio das coordenadas uniformes no espaço tridimensional de cor, obteve-se os valores referentes a cromaticidade e o ângulo $H_{ab.}$, e em função do diagrama de cores, as amostras apresentaram coloração muito similares, tendo assim diferentes tons de amarelo (ângulo entre 70° e 90°), como pode ser observado na Figura 2.

**Figura 2 -** Coloração do malte em diferentes granulometrias




A Tabela 3 demonstra os valores obtidos das densidades das amostras calculadas a partir da diferença de volumes.

**Tabela 3 -** Densidade das diferentes frações do malte

| Di(mm) | Massa (g) | Volume (ml) | Densidade (g/ml) |
|---|---|---|---|
| 0,125 | 3,065 | 4,000 | 0,766 |
| 0,166 | 3,007 | 2,500 | 1,203 |
| 0,215 | 3,010 | 2,500 | 1,204 |
| 0,303 | 3,003 | 2,000 | 1,502 |
| 0,390 | 3,010 | 1,500 | 2,006 |
| 0,463 | 3,002 | 3,000 | 1,001 |
| 0,675 | 5,010 | 3,000 | 1,670 |
| 0,925 | 3,010 | 2,800 | 1,075 |
| 1,500 | 1,502 | 0,500 | 3,004 |

Observa-se que os ensaios realizados com as amostras resultou em diversos valores de densidade, Praticamente foi pesado o mesmo valor em massa para todas as amostras, exceto 7B e 9B. Os valores obtidos das densidades estão de acordo com a variação de volume inicial e final, esses resultados podem variar devido a densidade estar relacionada com o tempo de empacotamento, ou seja, a massa decantada após determinado tempo. A porosidade das partículas pode interferir nesse tempo de empacotamento.

A quantificação da umidade das amostras foi realizada através do método por secagem em estufa, obtendo-se os valores expressados na tabela 4.

**Tabela 4 -** Teor de umidade e sólidos totais por secagem em estufa

| Di(mm) | Peso de amostra (g) | Umidade (%) | Sólidos Totais (%) |
|---|---|---|---|
| 0,215 | 2,653 | 1,357 | 98,643 |
| 0,303 | 3,005 | 1,364 | 98,636 |
| 0,390 | 3,002 | 2,498 | 97,502 |
| 0,463 | 0,451 | 4,435 | 95,565 |

De acordo com a Tabela 4 verifica-se que a medida que diminui-se a granulometria há um incremento no teor de umidade da fração, sendo a máxima umidade de 4,434%, onde a amostra 6B, de diâmetro 0,463 milímetros teve uma porcentagem de umidade acima das demais amostras.

A Tabela 5 representa os valores obtidos na quantificação do teor mineral das amostras, tais resultados foram obtidos por meio da espectrofotometria de absorção atômica em chama, levando em conta a curva de calibração de cada mineral correspondente.

**Tabela 5 -** Teores de K, Fe e Ca paras as frações de malte

| Di (mm) | Massa (g) | K (mg/100g) | Fe (mg/100g) | Ca (mg/100g) |
|---|---|---|---|---|
| 0,215 | 2,653 | 320,390 | 4,690 | 61,220 |
| 0,303 | 3,005 | 260,680 | 9,160 | 15,260 |
| 0,390 | 3,007 | 504,380 | 6,720 | 109,720 |
| 0,463 | 0,451 | 702,140 | 14,080 | 38,130 |

De maneira geral, os teores de K e Fe aumentaram a medida que houve diminuição na granulometria da fração. O teor quantificado de cada mineral se assemelha com os valores da literatura (Dimas, 2010), diferentemente dos teores de Ca obtidos, que variaram conforme sua granulometria. Levando em conta os inúmeros tipos de malte disponíveis na atualidade para fabricação de cerveja, sendo assim ser possível determinar que em amostras com diferentes granulometrias o teor mineral varia devido à alguns fatores. Pode ser observado que diferentes granulometrias influenciam na distribuição de minerais contidos nos grãos, a diminuição na granulometria facilita a liberação dos minerais, que antes poderiam ser inibidos pela estrutura do grão.

O valor calculado do teor de nitrogênio foi de 0,9947%. A partir deste valor foi possível quantificar o teor de proteína no malte, usando o fator de conversão (f) de 6,00 (grãos), tendo assim um teor proteico de 5,97% de malte, valor idêntico ao encontrado na literatura (Dimas, 2010), podendo variar um pouco devido aos diferentes tipos de maltes encontrados atualmente.

## 4. CONCLUSÃO

As partículas de malte tipo Pilsen apresentaram diâmetros médios de Sauter de 0,337 mm, diâmetro superficial de 1,689 mm e volumétrico de 0,987 mm., Pode-se verificar que o tamanho de partícula influência nas propriedades finais do malte, pois foi possível verificar uma grande variação para os resultados obtidos, tanto de minerais como para o teor de proteínas, provavelmente esses valores estão diretamente atribuídos ao aumento na área superficial do material, proporcionando uma facilidade de contato com os minerais e proteínas contidos na estrutura.

## 5. AGRADECIMENTOS

Capes, Fapergs, CNPq e a URI-Erechim

## 6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-RABADI, G. J. S.; GILBERT, R. G.; GIDLEY, M. J. Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha -amylase. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 2, p. 198–204, 2009.

BAIK, B.; ULLRICH, S. E. Barley for food : Characteristics , improvement , and renewed interest. v. 48, p. 233–242, 2008.

BIANCA, A.; MOURA, F. DE. Análise da influência da distribuição granulométrica do malte na obtenção de extrato no mo os sto cervejeiro. 2018.

CZUCHAJOWSKA, Z. et al. Structure and Functionality of Barley Starches. v. 75, n. 5, p. 747–754, 1998.

DE, E.; GOMEZ, M.; ROSELL, C. M. Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p. 421–427, 2013.

DIMAS, N. D. **Análise química da cerveja 2M em termos dos teores de Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na, e Zn e verificação da contribuição dos teores destes elementos a partir da água e do malte**. [s.l.] Universidade Eduardo Mondlane, 2010.

GUTKOSKI, L. C.; ANTUNES, E.; ROMAN, I. T. AVALIAÇÃO DO GRAU DE EXTRAÇÃO DE FARINHAS DE TRIGO E DE MILHO EM MOINHO TIPO COLONIAL. **ResearchGate**, abr. 2009.

IZYDORCZYK, M. S. et al. Variation in Total and Soluble -Glucan Content in Hulless Barley : Effects of Thermal , Physical , and Enzymic Treatments. p. 982–989, 2000.

LIZARAZO, D. **PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS , GERMINATIVOS E MICROESTRUTURAIS DE QUALIDADE EM CULTIVARES**Florianópolis (SC)UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, , 2003.

QUINDE, Z.; ULLRICH, S. E.; BAIK, B. Genotypic Variation in Color and Discoloration Potential of Barley-Based Food Products. n. C, 2004.

RODRIGUES, B.; AGUIAR, I.; THOMPSON, J. **DESENVOLVIMENTO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS PARA A PRODUÇÃO DE UM SUPLEMENTO ALIMENTAR À BASE DE BAGAÇO DE MALTE**Universidade São Francisco, , 2011.

RODRIGUES, E. Análise Granulómetrica experimetal. v. 7211, p. 9–16, 1987.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluso neste trabalho

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# FUNCIONALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOSSENSOR DE CANTILEVER UTILIZANDO POLIANILINA E ÓXIDO DE GRAFENO

**Janine Martinazzo**
**Lucas Henrique do Nascimento**
**Alexandra Nava Brezolin**
**Clarice Steffens**
**Juliana Steffens**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões - URI- Erechim, Av. Sete de Setembro 1621, Erechim - RS, CEP 99700-000, Brasil.
janinemartinazzo@yahoo.com.br, lucashenryque.nascimento@gmail.com, alexandra.nava@gmail.com, clarices@uricer.edu.br, julisteffens@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O objetivo deste trabalho foi funcionalizar um nanossensor de cantilever pela técnica Layer-by-Layer (LbL) e caracterizar a camada sensora por microscopia de força atômica (AFM), espectroscopia no ultravioleta-visível (UV-Vis), difratograma de raios X (DRX) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com ATR (FTIR-ATR), para posterior utilização na detecção de feromônio de Euschistus heros, uma das praga da soja. Foram utilizados cantileveres de silício com frequência de ressonância de 13±4 kHz e constante de mola de 0,2 N.m$^{-1}$. Observou-se uma redução da frequência de ressonância durante a funcionalização do cantilever, indicando a deposição de massa e, consequentemente, a deposição do filme pela técnica LbL, não ocorrendo alteração na rigidez do cantilever. Por meio das técnicas de UV-vis, DRX e FTIR-ATR foram observadas bandas e picos característicos dos reagente utilizados e, pela avaliação em AFM foi possível identificar a eficácia da funcionalização do nanossensor de cantilever.*

***Palavras chave:*** *Layer-by-Layer, frequência de ressonância, feromônio.*

## 1. INTRODUÇÃO

O grafeno consiste em átomos de carbono arranjados em monocamada em uma estrutura de duas dimensões (Slonczewski e Weiss, 1958) e vem sendo utilizado como base para dispositivos eletrônicos devido às suas particulares propriedades como a alta condutividade elétrica, estabilidade térmica, excelente flexibilidade e resistência mecânica, biocompatibilidade e grande razão entre área superficial e volume. Em particular, essas duas últimas propriedades motivam a utilização do grafeno, também, como base para sensores químicos e biológicos (Lee *et al*., 2015; Pang *et al*., 2015; Tang *et al*., 2016). Outra opção promissora para sua utilização em sensores é a solubilidade em água e em alguns solventes orgânicos, que permitem sua deposição através de filmes finos por meio de técnicas como *Layer-by-Layer* (*LbL*) (Nabok *et al*., 2017), técnica que consiste em fabricar estruturas organizadas por meio de camadas e pode ser bem controlada em escala nanométrica (Raposo e Oliveira Jr, 1998; Michel *et al*., 2012).

Entre várias técnicas na obtenção de folhas de grafeno, a redução de óxido de grafeno (OG) é a técnica mais proeminente para realizar as folhas de grafeno a baixo custo e para a produção em massa. As propriedades do OG foram significativamente aprimoradas através da exploração da hibridação do OG, que oferece uma potencial aplicação para detecção de gás (Toda *et al*., 2015; Kavinkumar e Manivannan, 2016).

Polianilina (PANI) é um polímero condutor que vem se destacando por sua facilidade de polimerização, mecanismos de condução elétrica estáveis, alta estabilidade química em condições ambiente, baixo custo e dopagem química reversível (Fratoddi *et al*., 2015). De acordo com Rozemarie *et al*. (2017), a PANI isolada ou associada a diferentes polímeros ou substâncias minerais, tem muitas aplicações como sensor de gás, devido à sua capacidade de converter uma interação química em um sinal elétrico.

Na agricultura, diversas pragas trazem muitos prejuízos nas lavoras, e consequentemente o elevado uso de agroquímicos, desencadeando uma difícil produção de alimentos livres destes, onde a busca cada vez maior do compromisso com o próprio bem-estar e a conservação do ambiente exigem que alternativas sejam alcançadas para controlar estas pragas (Sousa *et al*., 2012).

O objetivo deste trabalho foi funcionalizar um nanossensor de cantilever pela técnica *LbL* e caracterizar a camada sensora por microscopia de força atômica (AFM), espectroscopia no ultravioleta-visível (UV-Vis), difratograma de

raios X (DRX) e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com ATR (FTIR-ATR), para posterior utilização na detecção de feromônio de *Euschistus heros*, uma das praga da soja.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do nanossensor foram utilizados cantileveres de silício (Budget Sensors®, Bulgária), com frequência de ressonância de 13±4 kHz e constante de mola (k) de 0,2 $N.m^{-1}$, com comprimento de 450 μm, largura de 50 μm e espessura de 2 μm, revestido com uma camada de 30 nm de alumínio, sendo esta refletora.

Para a funcionalização do cantilever por meio da técnica *LbL* com PANI e OG seguiu-se a metodologia descrita por Raposo *et al*. (1997). Primeiramente, os cantileveres foram lavados com álcool isopropílico (Merck, Brasil, 99,5%), em placa de petri, por 2 min para a eliminação de possíveis sujidades. Em seguida foram secos a temperatura ambiente (25ºC) por 30 min. Para a construção de cada bicamada, foi realizada a deposição alternada de PANI (policátion) e OG (poliânion) na haste do cantilever, até completar 7 bicamadas.

O cantilever foi imerso primeiramente na solução de PANI (policátion) por 3 min. A seguir, o mesmo foi lavado com HCl pH 3 (1 min) e seco durante 15 min a temperatura ambiente. Esta etapa refere-se a construção da primeira monocamada. Após seco, o cantilever foi imerso na solução de OG (poliânion) por 3 min, lavado om HCl pH 3 (1 min) e seco por 15 min (temperatura ambiente), repetindo até a obtenção de 7 bicamadas.

Para a caracterização, a frequência de ressonância ($f_{res}$) foi medida antes e durante as etapas da funcionalização em microscópio de força atômica - AFM (Nanosurf, C3000 Controller, Suíça). Ainda, a massa depositada no cantilever foi calculada ao fim da funcionalização. A $f_{res}$ avaliada pode ser relacionada com a massa (m) depositada sobre o cantilever e a constante de mola (k). A massa depositada sobre o cantilever foi calculada de acordo com a Eq. 1 (Wang *et al*., 2007).

$$\Delta m = \frac{k}{4\pi^2 n}\left(\frac{1}{{f_1}^2} - \frac{1}{{f_0}^2}\right) \quad (1)$$

onde: k é a constante de mola, $f_1$ é a frequência final e $f_0$ é a frequência inicial do cantilever e *n* é uma constante que depende do cantilever utilizado (0,24 para retangulares) (Chen *et al*., 1995).

A alteração na rigidez do cantilever foi avaliada após o processo de funcionalização. A $k_{loaded}$ foi calculada de acordo com a Eq. 2 (Manzoli *et al*., 2010; Parkin *et al*., 2011):

$$k_{loaded} = \left(\left(\frac{f_n - f_{0n}}{f_{0n}}\right) + 1\right)^2 * \left(k_0 * \left(1 + \frac{m_a}{m_c}\right)\right) \quad (2)$$

onde: $f_n$ é a frequência após cada etapa de funcionalização, $f_{0n}$ é a frequência inicial, antes da funcionalização, $m_a$ é a massa adicionada sobre o cantilever após funcionalização, $m_c$ é a massa inicial do cantilever e $k_0$ é a constante de mola inicial do cantilever.

Os espectros de absorção UV-Vis foram obtidos em espectrofotômetro de UV-Vis (Agilent, 8453E, USA), com varreduras entre 200-1000 nm. A difratometria de raios X (DRX) foi realizada em um difratômetro (Rigaku - Mini flex II, Japão), operando na geometria convencional 2θ, com velocidade de varredura: 2º/min, passo: 0.05; detector de cobre: 1,54 nm e voltagem do detector: 30 mA. Por fim, a análise de FTIR-ATR foi realizada na Universidade de Caxias do Sul/RS, em equipamento PerkinElmer, FT-IR Spectrum 100S, USA) acoplado com acessório de reflexão total atenuada (ATR), no intervalo de número de onda de 600-4000 $cm^{-1}$.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a média da redução das $f_{res}$ obtida durante as etapas de funcionalização do nanossensor de cantilever de PANI.OG. Observa-se uma redução da $f_{res}$ durante a funcionalização do cantilever, indicando a deposição de massa e, consequentemente, a deposição do filme pela técnica *LbL*.

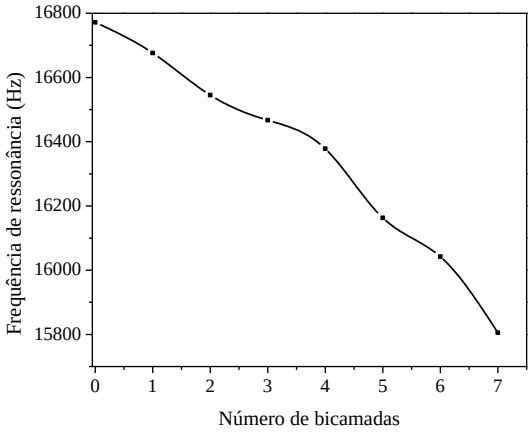



Figura 1. Avaliação da $f_{res}$ durante a funcionalização para o nanossensor de cantilever de PANI.OG.

A Tabela 1 apresenta os valores de massa (m) e de constante de mola (k) após funcionalização para o nanossensor de cantilever de PANI.OG.

Tabela 1: Valores de constante de mola (k) e massa (m) ao fim da funcionalização dos nanossensor de cantilever de PANI.OG.

| **Nanossensor de cantilever** | **k (N/m)** | **m (ng)** |
|---|---|---|
| PANI.OG | 0,20 | 44,72 |

Conforme Tabela 1, é possível afirmar que não ocorreu alteração na rigidez do cantilever, ou seja, não houve alteração em k ao final da funcionalização com a deposição de massa. Com a funcionalização, a espessura aumenta, atuando como um amortecedor alterando a eficiência da excitação, exigindo mais energia para manter a vibração e, com isso, altera a $f_{res}$ (Margarido *et al*., 2016).

A Figura 2 apresenta o espectro de na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) para PANI.OG. Uma banda em torno 230 nm é observada e também foi relatada por Tang *et al*. (2016), (215 nm), o que é atribuído à transição π-π* das ligações atômicas C-C (Xu *et al*. 2013). Wu *et al*. (2016) em espectro de UV-vis, identificaram a absorção em 230 nm para a amostra de OG corroborando ao resultado encontrado no presente estudo.

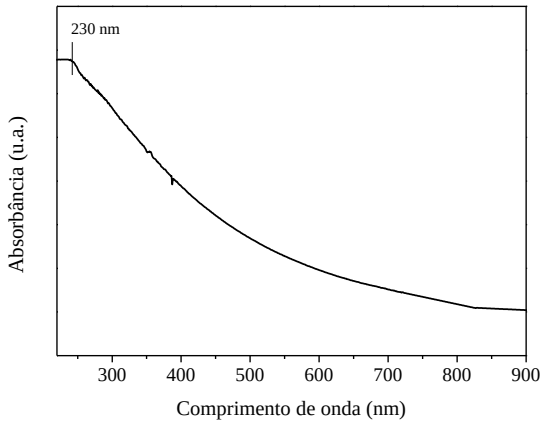



Figura 2. Espectro na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) para PANI.OG.

A Figura 3 apresenta o difratogramas de raios X (DRX) para PANI.OG. Picos aparecem em valores de 2θ em torno de 11°, 20º e 42º. Gupta *et al*. (2016) e Kavinkumar e Manivannam (2016) também observaram um pico em torno de 12° para OG em seus trabalhos, onde padrão de difração a 10,57º testemunhou a presença de grupos funcionais de

oxigênio em OG. Mooss e Athawale (2016) também observaram o pico característico em 2θ = 10º e dois pequenos picos a 25º e 43º que respondem pela camada grafítica não oxidada e pela distorção turbostática dos planos grafíticos, respectivamente. O pico turbostático corrobora com maior grau de oxidação (Navarro *et al*., 2010). Já Lima *et al*. (2017) identificaram picos em 2θ = 10,8º e 20,9º para OG, estando de acordo com os resultados aqui mencionados.

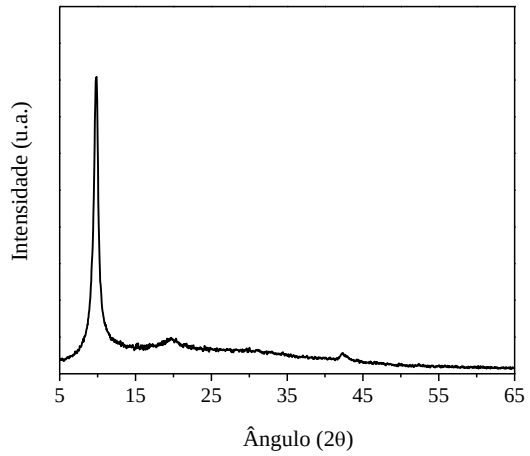



Figura 3. Difratogramas de raios X (DRX) para PANI.OG.

A Figura 4 demonstra a Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier com ATR (FTIR-ATR) para PANI.OG. Picos de absorção em 1053, 1200, 1400, 1620, 1725, 3110 e 3585 $cm^{-1}$ foram observados. Os dois picos de absorção em 1053 $cm^{-1}$ e 1200 $cm^{-1}$ podem ser atribuídos às deformações O−H dos grupos C−OH e às vibrações de deformação simétrica do anel epóxi, respectivamente (Tang *et al*., 2016). Já os picos de absorção em 1725 $cm^{-1}$ e 1623 $cm^{-1}$ representam o alongamento C=O dos grupos COOH e as vibrações esqueléticas dos domínios grafíticos não oxidados.

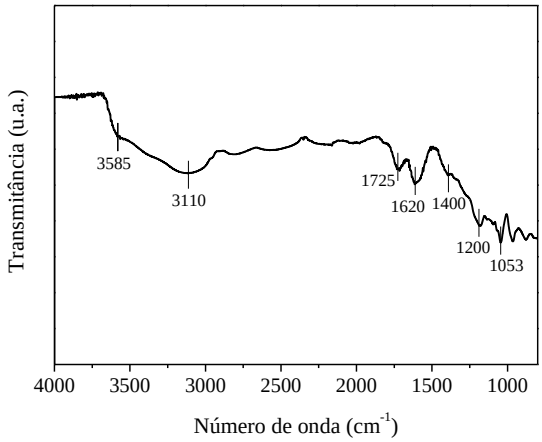



Figura 4. Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier com ATR (FTIR-ATR) para PANI.OG.

Picos de absorção semelhantes, incluindo os picos 1407 $cm^{-1}$ e de 3400 a 3100 $cm^{-1}$ foram observados por Mooss e Athawale (2016), onde segundo Venugopal *et al*. (2012), correspondente a hidroxila, carbonila, água adsorvida, C−O e grupos funcionais epóxi. Su e Liao (2019) também encontraram picos de absorção em OG em grupos hidroxila terciários (O−H curvatura a 1410 $cm^{-1}$) e grupos epóxi (C−O estiramento a 1240 $cm^{-1}$). As bandas de absorção para OG em 1058 $cm^{-1}$, 1236 $cm^{-1}$ e 1720 $cm^{-1}$, as quais foram referidas às vibrações C−O, C−O−C e vibrações esqueléticas do grupo C=O, respectivamente (Wu *et al*., 2016). O pico característico a 3430 $cm^{-1}$ foi atribuído à vibração de alongamento de OH (Feng *et al*., 2012).

## 4. CONCLUSÕES

A caracterização da camada sensora desenvolvida de PANI.OG para a construção de nanossensor de cantilever demonstrou a eficiente funcionalização pelo método *LbL*. Por meio das técnicas de UV-vis, DRX e FTIR-ATR foram observadas bandas e picos característicos dos reagente utilizados e, pelo método de avaliação da $f_{res}$ por AFM foi possível identificar a eficácia da funcionalização realizada a fim de utilizar o nanossensor de cantilever para a detecção do feromônio do percevejo *E. heros*.

## 5. REFERÊNCIAS

Chen, G.; Thundat, T.; Wachter, E.A. e Warmack, R.J. 1995. "Adsorption-induced surface stress and is effects on resonance frequency of microcantilevers". *Journal of Applied Psysical*, Vol. 77, n. 8, p. 3618-3622.

Feng, Q.; Liu, K.; Fu, J.; Zhang, Y.; Zheng, Z.; Wang, C.; Du, Y. e Ye, W. 2012. "Direct electrochemistry of hemoglobin based on nano-composite film of gold nanopaticles and poly (diallyldimethylammonium chloride) functionalized graphene". *Electrochimica Acta*, Vol. 60, p. 304-308.

Fratoddi, I., Venditti, I.; Cesare, C. e Russo, M.V. 2015. "Chemiresistive polyaniline-based gas sensors: a mini review". *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 220, p. 534-548.

Gupta, S.; Mcdonald, B.; Carrizosa, S.B. e Price, C. 2016. "Microstructure, residual stress, and intermolecular force distribution maps of graphene/polymer hybrid composites: nanoscale morphology-promoted synergistic effects". *Composites Part B*, Vol. 92, p. 175-192.

Kavinkumar, T. e Manivannan, S. 2016. "Uniform decoration of silver nanoparticle on exfoliated graphene oxide sheets and its ammonia gas detection". *Ceramics International*, Vol. 42, p. 1769-1776.

Lee, T.; Min, S.H.; Gu, M.; Jung, Y.K.; Lee, W.; Lee, J.U.; Seong, D.G. e Kim, B-S. 2015. "Layer-by-Layer assembly for graphene-based multilayer nanocomposites: synthesis and applications". *Chemistry of Materials*, Vol. 27, n. 11, p. 3785-3796.

Lima, C.R.M.; Pereira, M.R.; Fonseca, J.L.C. 2017. "Nanosized dispersions based on chitosan and NaPSS". *Journal of Polymer Research*, Vol. 24, p. 51, 2017.

Margarido, A.; Moreira, F.M.A. e Herrmann, P.S.P. 2016. "Influência da temperatura e umidade no desenvolvimento de um biossensor com microcantilever". *Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Vol. 38, n. 4, p. 1-24.

Michel, M., Toniazzo, V., Ruch, D. e BALL, V. 2012. "Deposition mechanisms in Layer-by-Layer or Step-by-Step deposition methods: From elastic and impermeable films to soft membranes with ion exchange properties". *International Scholarly Research Network*, Vol. 12, p. 1-13.

Mooss, V.A. e Athawale, A.A. 2016. "Polyaniline-graphene oxide nanocomposites: influence of nonconducting graphene oxide on the conductivity and oxidation-reduction mechanism of polyaniline". *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*, Vol. 54, p. 3778-3786.

Nabok, A.; Walch, N.; Dutton, S.; Davis, F. e Higson, S.P.J. 2017. "Graphene-based LbL deposited films: further study of electrical and gas sensing properties". *MATEC Web of Conferences*, Vol. 98, p. 8-11.

Pang, S.; Liu, S. e SU, X. 2015. "An ultrasensitive sensing strategy for the detection of lead (II) ions based on the intermolecular G-quadruplex and graphene oxide". *Sensors and Actuators B*, Vol. 208, p. 415-420.

Raposo, M. e Oliveira Jr, O.N. 1998. "Adsorption mechanisms in Layer-by-Layer films". *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 28, n. 4, p. 1-13.

Raposo, M.; Pontes, R.S.; Mattoso, L.H.C. e Oliveira, O.N. 1997. "Kinetics of adsorption of poly(o-methoxyaniline) self-assembled films". M*acromolecules*, Vol. 30, n. 20, p. 6095-6101.

Rozemarie, M.L.; Andrei, B.; Liliana, H.; Cramariuc, R. e Cramariuc, O. 2017. "Electrospun based polyaniline sensors - a review". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 209, p. 1-10.

Slonczewski, J.C. e Weiss, P.R. 1958. "Band structure of graphite". *Physical Review*, Vol. 109, n. 2, p. 272-279.

Sousa, M.F.; Silva L.V.; Brito, M.D. e Furtado, D.C.M. 2012. "Tipos de controle alternativo de pragas e doenças nos cultivos orgânicos no estado de Alagoas, Brasil". *Revista Brasileira de Agroecologia*, Vol 7, n. 1, p. 132-138.

Su, P.-G. e Liao, Z.-H. 2019. "Fabrication of a flexible single-yarn $NH_3$ gas sensor by layer-by-layer selfassembly of graphene oxide". *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 224, p. 349-356.

Tang, S.; Tong, P.; You, X.; Lu, W.; Chen, J.; Li, G. e Zhang, L. 2016. "Label free electrochemical sensor for $Pb_2$+ based on graphene oxide mediated deposition of silver nanoparticles". *Electrochimica Acta*, Vol. 187, p. 286-292.

Toda, K.; Furue, R. e Hayami, S. 2015. "Recent progress in applications of graphene oxide for gas sensing: a review". *Analytica Chimica Acta*, Vol. 878, p. 43-53.

Venugopal, G.; Krishnamoorthy, K.; Mohan, R. e Kim, S. 2012. "An investigation of the electrical transport properties og graphene-oxide thin films". *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 132, p. 29-33.

Wang, C.M.; Zhang, Y.Y. e He, X.Q. 2007. "Vibration of nonlocal timoshenko beams". *Nanotechnology*, Vol. 18, n. 10, p. 105401.

Wu, H.; Huang, D.; Jin, X.; Luo, C.; Dong, Q.; Sun, B.; Zong, R.; Li, J.; Zhang, L. e Zhang, H. 2016. "Silver nanoparticles/polyethyleneimine/graphene oxide composite combined with surfactant film for construction of an electrochemical biosensor". *Analytical Methods*, Vol. 8, p. 2961-2966.

Xu, M.; Liang, T.; Shi, M. e Chen, H. 2013. "Graphe-like two-dimensional materials". *Chemical Reviews*, Vol. 113, n. 5, p. 3766-3798.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE POLIANILINA DOPADOS COM ÁCIDO CANFORSULFÔNICO UTILIZANDO MICROSCOPIA DE FORÇA ATÔMICA

**Sandra Cristina Ballen**
**Lucas Henrique do Nascimento**
**Adriana Márcia Graboski**
**Janine Martinazzo**
**Juliana Steffens**
**Clarice Steffens**
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Erechim , Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim RS
Emails: sandra-ballen@live.com, lucashenryque.nascimento@gmail.com, adigraboski@hotmail.com, janinemartinazzo@yahoo.com.br, julisteffens@uricer.com.br, clarices@uricer.com.br

***Resumo:*** *A polianilina possui propriedades como química simples e reversível de dopagem-desdopagem, o que a possibilita de ser usada como camada sensitiva em sensores de gases. O seu processo de dopagem é uma reação de transferência de cargas entre ela mesmo e um dopante, o que aumenta a condutividade. Os dopantes usados geralmente são ácidos protônicos, como o ácido canforossulfônico (CSA). A nanoestrutura e a morfologia dos polímeros condutores são essenciais para a determinação de suas propriedades e possíveis aplicações, a qual pode ser determinada pela técnica de microscopia de força atômica (AFM). Desta forma o objetivo deste é caracterizar filmes de polianilina em substrato de papel vegetal dopados com CSA por meio de obtenção de imagem pela técnica de AFM. Os filmes de polianilina sobre substrato de papel vegetal foram obtidos pela síntese in situ e depois desdopados e redopados com CSA. As imagens de topografia obtidas pela AFM demonstraram uma morfologia globular e porosa e pela imagem de interface entre o papel vegetal e o filme foi possível calcular a espessura do filme, que foi de 124 nm. Desta forma os resultados obtidos demonstram que o filme obtido pode ser utilizado como camada sensora para detecção de voláteis.*

***Palavras chave:*** *Polianilina, Ácido canforsulfônico, Morfologia, Espessura, AFM.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os polímeros intrinsecamente condutores têm atraído a atenção de vários grupos de pesquisa desde a sua descoberta, devido ao grande potencial em aplicações tecnológicas (Mattoso, 1996). Dentre os polímeros condutores, a polianilina se destaca por possuir excelentes propriedades, incluindo a química simples e reversível de dopagem-desdopagem, mecanismos estáveis de condução elétrica, alta estabilidade ambiental e facilidade de síntese, o que leva a possíveis aplicações de dispositivos elétricos, como sensores de gases (Fratoddi *et al*., 2015).

Conforme Bhadra *et al*. (2009) a polianilina pode ser obtida por métodos químicos, eletroquímicos, enzimáticos, plasma e fotolíticos. Os mais utilizados são os métodos químicos, devido ao interesse industrial, e os eletroquímicos devido a vantagem química de controle rigoroso em todas as etapas do processo de polimerização.

A síntese química convencional (*in situ*) da polianilina, também conhecida como polimerização in situ, pode ser conduzida com uma solução aquosa de anilina dissolvida em uma solução ácida forte (por exemplo, HCl, ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido perclórico, ácido fluorofosfórico, além de ácidos funcionalizados como canforsulfônico e dodecilbenzenosulfônico) e uma solução de oxidante (persulfato de amônio, cloreto de ferro, peróxido de hidrogênio, dicromato de potássio, sulfato de cério, entre outros). O sistema mais comum é o persulfato de amônio em solução aquosa de HCl com pH entre 0 e 2. A partir do momento que o oxidante é colocado sobre o monômero inicia-se o processo de polimerização (Paschoalin *et al*., 2012).

O processo de dopagem da polianilina é uma reação de transferência. de cargas entre um polímero orgânico e um dopante. Quando cargas são removidas (ou adicionadas) em um polímero por dopagem química, parâmetros geométricos, como o comprimento de ligações e ângulos sofrem mudanças. A carga move-se na cadeia polimérica ao longo da região formada por várias unidades repetidas (Malinauskas, 2001). A dopagem pode aumentar em muitas vezes a condutividade do polímero (Liao *et al*., 2019)

Os dopantes usados neste processo de dopagem geralmente são ácidos protônicos. Estes ácidos comumente contêm cadeias laterais de alquila longa tais como ácido canforossulfônico (CSA), ácido dodecilbenzenosulfônico (DBSA), ácido p-toluenossulfônico (p-TSA), ácido fítico (PA), ácido carboxílico, ácido acético, ácido oxálico , etc (Liao *et al*., 2019).

O CSA é um ácido único, porque, além da protonação, ele também interage com as cadeias conjugadas da polianilina através dos grupos $SO_3$ - e OC. Dependendo do solvente, os filmes polianilina dopados com CSA podem ter conformações diferentes, governadas pelos diferentes comprimentos de conjugação (Sasaki, Janata e Josowicz, 2007).

A nanoestrutura e a morfologia dos polímeros condutores são essenciais para a determinação de suas propriedades e possíveis aplicações (Krukiewicz e Katunin, 2016). A microscopia de força atômica (AFM) é uma tecnologia de microscópio capaz de caracterizar polímeros em escala sub-nanométrica. Ao contrário dos métodos microscópicos convencionais, a AFM visualiza a amostra contornando a superfície controlando as forças entre uma sonda minúscula e pontiaguda ou a ponta e a superfície da amostra (Wang e Nie, 2019). A técnica de AFM é amplamente utilizada para estudos morfológicos, dimensionais e nanomecânicos de vários tipos de amostras diferentes, gerando imagens tridimensionais de morfologia. É possível por meio dela determinar aspectos estruturais e obter medições precisas das dimensões (por exemplo, comprimento, altura e largura, espessura) (Ruggeri *et al*., 2019).

Desta forma o presente trabalho tem como objetivo caracterizar sensores com filmes de polianilina em substrato de papel vegetal dopados com ácido canforsulfônico (CSA) por meio de obtenção de imagem pela técnica de microscopia de força atômica (AFM) quanto a morfologia e espessura do filme formado para posterior utilização dos mesmo na detecção de voláteis.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Eletrodos interdigitados de grafite

Os eletrodos interdigitados a base de grafite foram confecciondos com a técnica de formação de trilhas, segundo metodologia descrita por Venancio *et al*. (2008). Os eletrodos interdigitados de grafite eram constituídos de uma área retangular de 29 mm por 14 mm, sendo a parte interdigitada destes eletrodos formada por 11 dedos paralelos com 0,25 mm de largura, separadas por intervalos de 0,5 mm, formando assim 22 trilhas "Line Patterning", as quais foram desenhadas com o software convencional Paint (Microsoft TM), em seguida convertidas em uma imagem negativa. Essa imagem negativa foi impressa em um substrato de papel vegetal (Schoeller hammer) com espessura 63 g/cm$^3$ com uma impressora a laser (HP laser jet P1005).

Os substratos foram protegidos, fixando-se os mesmos com fita adesiva em papel absorvente para impedir o contato da dispersão aquosa de grafite (Aquadag E, Acheson Colloids Company) com a parte de trás do eletrodo. A qual foram preparadas na proporção de 1:4 (massa: volume) (grafite:água ultra-pura) para posterior deposição e recobrimento sobre as máscaras já impressas sobre o substrato de papel vegetal. O preparo desta mistura onsistiu em adicionar lentamente a água sobre o grafite com agitação magnética constante (Festoam 752A) a temperatura de 25 °C (± 2) por um período de 20 min (Steffens *et al*., 2012).

A deposição do grafite sobre as máscaras impressas sobre o substarto de papel vegetal foi realizada pela deposição de 3 gotas da solução de grafite com o auxílio de uma pipeta de pasteur e, então, espalhada sobre toda a superfície com um bastão de vidro. Depois os eletrodos foram para secagem em estufa (Tecnal - TE-393/1-M) por aproximadamente 30 min a 40 °C (± 2) . Este procedimento foi repetido mais uma vez para a melhor fixação do grafite nas linhas interdigitadas.

Após, os eletrodos foram imersos em 40 mL de acetona (Merck, 99,5%) para a remoção total do tonner por aproximadamente 30 s em ultrassom (Transsonic 310 – Elma). Após a secagem do eletrodo interdigitado de grafite em temperatura ambiente (25 °C ± 2), este foi armazenado em um dessecador a vácuo. A Figura 1 apresenta a representação esquemática da obtenção dos eletrodos interdigitados de grafite.

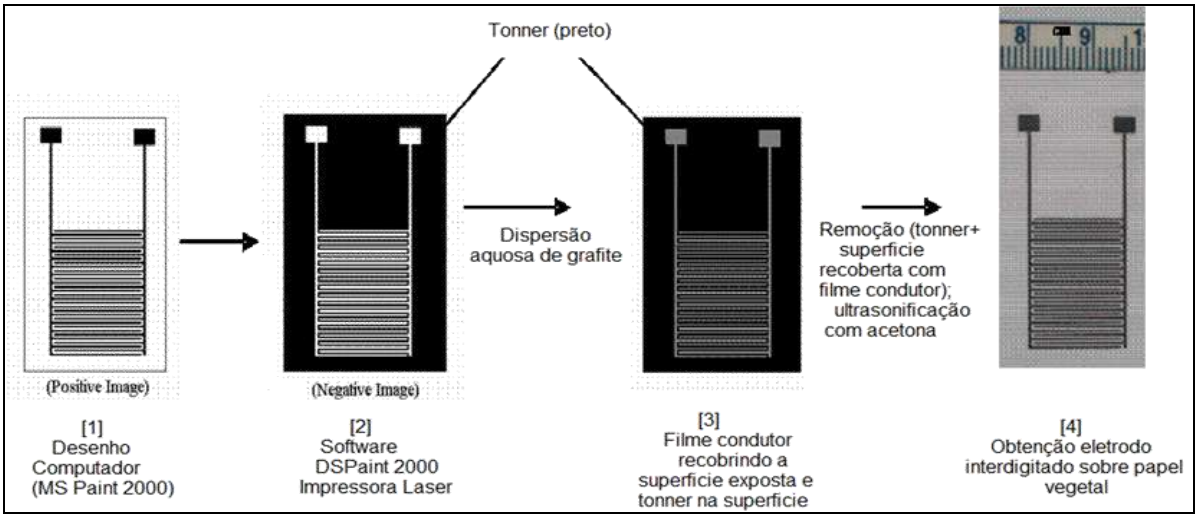



Figura 1. Representação esquemática para obtenção do eletrodo interdigitado sobre substrato de papel vegetal, utilizando a técnica de formação de trilhas com grafite.

### 2.2 Deposição dos filmes de polianilina sobre substrato de papel vegetal

A síntese *in situ* da polianilina no estado de oxidação esmeraldina foi realizada de acordo com Steffens *et al*. (2009). O procedimento para obtenção dos filmes sobre o substrato de papel vegetal seguiu-se da seguinte forma.

Primeiramente a anilina (Sigma Aldrich 99,5 %) foi purificada por destilação a vácuo. Durante este processo, a mesma ficou protegida da exposição à luz, evitando, assim, sua degradação e oxidação. Depois de realizada a destilação, a anilina (incolor) foi mantida a 4°C e protegida da luz.

Para o processo de polimerização da anilina foram preparadas duas soluções. A Solução A foi preparada com a adição de 198 µL de anilina destilada na etapa anterior em 66 mL de HCl 1M (Merck 99 %), enquanto que a Solução Boutra foi preparada adicionando-se 0,498 g de persulfato de amônio (Sigma-Aldrich, 98 %) em 33 mL de HCl 1M. As duas soluções foram acondicionadas em um banho de gelo para atingir a temperatura a 0°C.

Os eletrodos interdigitados sobre o substrato de papel vegetal foram fixos em uma folha de politereftalato de etileno (PET), a qual foi disposta no interior de um béquer, que se encontrava dentro de um banho de gelo. Então, a solução A foi vagarosamente gotejada sobre a solução B dentro do béquer que continha os eletrodos interdigitados. A temperatura do sistema foi mantida 0°C para que a reação ocorresse, sob agitação magnética (Fisatom 752A). Decorridos 100 min de reação, os sensores foram retirados do béquer e lavados abundantemente com HCl 1M. Em seguida, os mesmos foram armazenados em dessecador a vácuo até sua completa secagem. Esta etapa foi a responsável pela deposição dos filmes sensitivos sobre o substrato de papel vegetal, transformando-os assim em dispositivos sensores.

### 2.3 Processo de dopagem

Os sensores de substratos de papel vegetal com filme de polianilina dopados com HCl obtidos da síntese *in situ* foram imersos por 30 s em solução 0,1 M de hidróxido de amônio ($NH_4OH$) (Quimex) para sua desdopagem (estado isolante) e posteriormente imersos por 90 s em uma solução 0,1 M de ácido canforsulfônico - CSA (Sygma) para sua redopagem como foi descrito por Manzoli *et al*. (2011).

### 2.3 Caracterização dos filmes de polianilina por AFM

Utilizou-se a técnica de microscopia de força atômica (AFM) para a análise topográfica (morfologia) e de espessura para caracterizar os filmes de polianilina dopados com CSA depositados sobre o substrato de papel vegetal. Para isso foi utilizado um microscópio de força atômica (Nanosurf, C3000 Controller, Suíça), a varredura da superfície da amostra foi realizada por um microcantilever de silício, modelo Tap-150-G (Budget Sensors®, Bulgária), de frequência de ressonância de 150 (±75) kHz e constante de mola de 5 (1,5-15) $N.m^{-1}$. Todas as imagens foram obtidas em modo dinâmico e a varredura realizada em modo *tapping*, com uma área de 10 $\mu m^2$, com resolução de 512 x 512 pontos e velocidade de varredura de 2s/linha.

Enquanto que para a análise de espessura, foi obtida uma imagem topográfica com uma área de 40 $\mu m^2$, resolução de 260 x 260 pontos e velocidade de varredura de 2 s/linha. A espessura foi calculada pela diferença de altura entre a superfície do filme de polianilina dopado com CSA e o substrato de papel vegetal, em vários locais da imagem utilizando o software Gwyddion (Versão 2.53).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diferentes morfologias da polianilina podem ser obtidas dependendo das condições de síntese e dopagem e tipos de dopantes utilizados (Araujo *et al*., 2018). A Figura 2 apresenta a imagem de topografia de AFM do filme de polianilina dopado com CSA sobre substrato de papel vegetal.

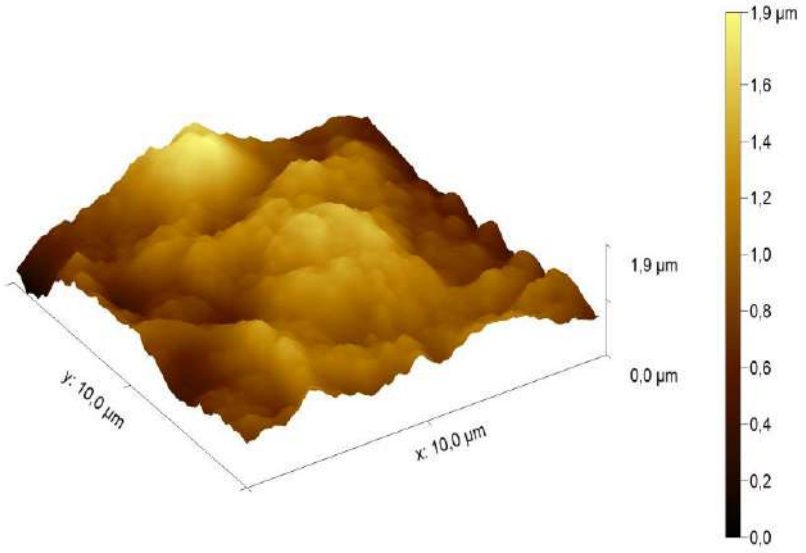



Figura 2. Imagem de topografia de AFM dos filmes de polianilina dopados com CSA sobre substrato de papel vegetal.

Por meio da Figura 2, foi possível observar um recobrimento uniforme da superfície e uma morfologia granular típica das Pani (MATTOSO, 1996) e porosa. Quando filmes finos porosos são formados, isto é, que possuem superfície ativa, o gás é capaz de penetrar no substrato, proporcionando assim uma alta relação entre superfície e volume, facilitando a difusão de gás e, assim, aumentando a taxa de detecção (Bandgar *et al*., 2017, Maity e Majumder, 2015). O que se torna uma propriedade muito importante quando se aplica esse tipo de filme em sensores de gases.

Tai *et al*. (2007) relatam que em filmes finos de polianilina, os poros no superfície contribuem para o curto tempo de resposta e recuperam a reversibilidade dos sensores, devido à rápida difusão do gás em superfícies porosas e maior área de exposição e penetração profundidade de moléculas voláteis.

A Figura 3 apresenta a imagem topográfica da interface entre substrato de papel vegetal e o filme polianilina dopado com CSA depositado sobre o substrato.

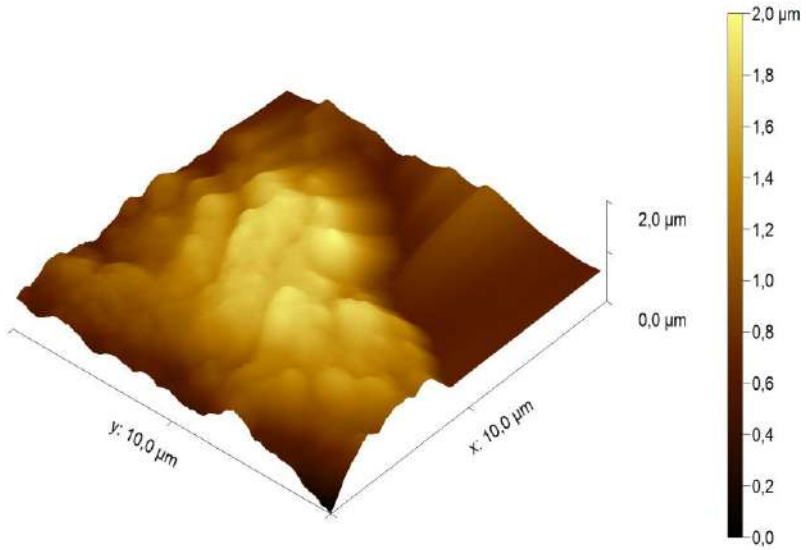



Figura 2. Imagem da interface entre substrato de papel vegetal e o filme polianilina dopado com CSA.

Pelas imagens de topografia do AFM (Figuras 2 e 3) obtidas na interface entre o polímero condutor que elas apresentam uma característica morfológica granular típica dos filmes de polianilina dopada com CSA e uma superfície lisa característica do substrato de papel vegetal. A morfologia granular é obtida devido a síntese de polianilina relializada pela técnica de polimerização *in situ*, onde os glóbulos ou grãos são formados devido à nucleação e mecanismos de crescimento. A camada sensora do filme de polianilina dopado com CSA apresentou uma espessura de 124 (± 3) nm. Essa média foi obtida com os valores de espessura baseados em três imagens. O filme com baixa espessura fornece área de superfície muito maior disponível para adsorção de voláteis.

Krukiewicz e Katunin (2016) obtiveram medidas da espessura média dos filmes de polianilina dopados com CSA na presença de m-cresol, N-metil-2-pirrolidona e dimetilsulfido de 6,36 (± 2,13), 5,85 (± 1,08) e 8,77 (±1,42) μm.

A morfologia e a espessura dos filmes depositados em sensores de gases tem grande influência nas suas respostas. A formação de poros e a espessura obtidas pela síntese *in situ* da polianilina nos filmes dopados com CSA demonstraram serem materiais promissores para serem usados na área de sensoriamento de voláteis.

## 4. CONCLUSÃO

A imagem de topografia demonstrou a morfologia globular do filme de polianilina dopado com CSA e a partir da imagem de interface foi possível calcular a espessura do filme depositado (124 nm). Desta forma os resultados obtidos demonstram que o filme obtido pode ser utilizado como camada sensora em sensores de gases (arranjo de sensores em nariz eletrônico) para detecção de voláteis.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - Código Financeiro 001 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul -FAPERGS, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e URI Erechim.

## 6. REFERÊNCIAS

Araujo, J. R., Lopes, E. S., De Castro, R. K., Senna, C. A., De Robertis, E., Neves, R. S., Fragneaud, B., Nykänen, A., Kuznetsov, A., Archanjo, B. S., De Paoli, M. A., 2018. Characterization of Polyaniline-Based Blends, Composites, and Nanocomposites. In: P*olyaniline Blends, Composites, and Nanocomposites*. [s.l.] Elsevier,. p. 209–233.

Bandgar, D. K., Navale, S. T., Navale, Y. H., Ingole, S. M., Stadler, F. J., Ramgir, N., Aswal, D. K., Gupta, S. K., Mane, R. S., Patil, V. B., 2017. Flexible camphor sulfonic acid-doped PAni/α-Fe 2 O 3 nanocomposite films and their room temperature ammonia sensing activity. *Materials Chemistry and Physics*, v. 189, p. 191–197.

Bhadra, S., Khastgir, D., Singha, N. K., Lee, J. H., 2009. Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. *Progress in Polymer Science*, v. 34, n. 8, p. 783–810.

Fratoddi, I., Venditti, I., Cametti, C., Russo, M. V., 2015. Chemiresistive polyaniline-based gas sensors: A mini review. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 220, p. 534–548.

Krukiewicz, K., Katunin, A., 2016. The effect of reaction medium on the conductivity and morphology of polyaniline doped with camphorsulfonic acid. *Synthetic Metals*, v. 214, p. 45–49.

Liao, G., Li, Q., Xu, Z., 2019. The chemical modification of polyaniline with enhanced properties: A review. *Progress in Organic Coatings*, v. 126, p. 35–43.

Maity, A., Majumder, S. B., 2015. $NO_2$ sensing and selectivity characteristics of tungsten oxide thin films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 206, p. 423–429.

Malinauskas, A., 2001. Chemical deposition of conducting polymers. *Polymer*, v. 42, n. 9, p. 3957–3972.

Manzoli, A., Steffens, C., Paschoalin, R. T., Correa, A., Alves, W., Leite, F., Herrmann, P., 2011. Low-Cost Gas Sensors Produced by the Graphite Line-Patterning Technique Applied to Monitoring Banana Ripeness. *Sensors*, v. 11, n. 6, p. 6425–6434.

Mattoso, L. H. C., 1996. Polyanilines: Synthesis, structure and properties. *Quimica Nova*, v. 19, p.4.

Paschoalin, R. T., Steffens, C., Manzoli, A., Paris, E. C., Herrmann, P. S. P., 2012. PANI Conductivity: A Dependence of the Chemical Synthesis Temperature. *Macromolecular Symposia*, v. 319, n. 1, p. 48–53.

Ruggeri, F. S., Šneideris, T., Vendruscolo, M., Knowles, T. P. J., 2019. Atomic force microscopy for single molecule characterisation of protein aggregation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 664, p. 134–148.

Sasaki, I., Janata, J., Josowicz, M., 2007. Stabilization of electronic properties of (1R)-(−)-10-camphorsulfonic acid doped polyaniline by UV irradiation. *Polymer Degradation and Stability*, v. 92, n. 7, p. 1408–1416.

Steffens, C., Manzoli, A., Francheschi, E., Corazza, M. L., Corazza, F. C., Oliveira, J. V., Herrmann, P. S. P., 2009. Low-cost sensors developed on paper by line patterning with graphite and polyaniline coating with supercritical CO2. *Synthetic Metals*, v. 159, n. 21–22, p. 2329–2332.

Steffens, C., Corazza, M. L., Franceschi, E., Castilhos, F., Herrmann, P. S. P., Oliveira, J. V., 2012. Development of gas sensors coatings by polyaniline using pressurized fluid. *Sensors and Actuators B: Chemica*l, v. 171–172, p. 627–633.

Tai, H., Jiang, Y., Xie, G., Yu, J., Chen, X., 2007. Fabrication and gas sensitivity of polyaniline–titanium dioxide nanocomposite thin film. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 125, n. 2, p. 644–650.

Venancio, E. C., Mattoso, L. H. C., Herrmann Júnior, P. S. De P., Macdiarmid, A. G., 2008. Line patterning of graphite and the fabrication of cheap, inexpensive, "throw-away" sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 130, n. 2, p. 723–729.

Wang, J., Nie, S., 2019. Application of atomic force microscopy in microscopic analysis of polysaccharide. *Trends in Food Science & Technology*, v. 87, p. 35–46.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS TEMPERATURA E AGITAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ETANOL UTILIZANDO O FARELO DE ARROZ COMO MATÉRIA PRIMA

**Raul José dos Santos Michel Jr. ,** URI Câmpus São Luiz Gonzaga , Rua José Bonifácio,3149 ; raulmichel56@yahoo.com.br; **Jéssica Andrade Michel**, URI Câmpus Erechim, arq.jessicamichel@gmail.com

**Jessica de Moura Lima ; Vitória S. Porto ; Marcio A. Mazutti** , Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais CEP 97105-000 –Santa Maria –RS, marciomazzuti@gmail.com

***Resumo:*** *O objetivo deste artigo foi investigar as variáveis agitação e temperatura na produção de etanol, com esta finalidade foi executado 11 experimentos em triplicatas. Os resultados foram analisados em Delineamento composto central rotacional ( DCCR) com estas variáveis. O inóculo foi adicionado 19 horas após a hidrólise sendo mantido simultaneamente com a fermentação até o final do processo em 48 horas. A máxima produção de etanol foi obtida no experimento 1 com 182,52 gramas de etanol por quilograma de farelo de arroz, tendo como agitação 140,5 rpm e a temperatura em 35,8ºC.*

***Palavras chave:*** *Agitação, produção de etanol, DCCR.*

## 1. INTRODUÇÃO

A atual Economia mundial é altamente dependente de várias fontes de energia fósseis, como petróleo, carvão, gás natural, etc. sendo utilizadas para a produção de combustível, eletricidade e outros bens (Uihlein, A e Schbek L . 2009).

O consumo excessivo de combustíveis fósseis, especialmente nos grandes centros urbanos, resultou na geração de elevados níveis de poluição durante as últimas décadas. O nível de gases de efeito estufa na atmosfera da terra tem aumentado drasticamente (Ballesteros; N, Ma José; Oliva, José Miguel; Cabañas, Araceli; Manzanares, Paloma e Ballesteros, Mercedes. 2006). Com a expansão da população humana e o crescente avanço industrial mundial o consumo de energia também aumentou gradualmente. A importação de combustíveis de transporte veiculares é afetado por reservas limitadas de combustíveis fósseis.

A produção anual mundial de petróleo começará a declinar dentro de um futuro próximo (Campbell C.H e Laherrere J.H. 1998). Neste cenário, outras fontes de energias podem servir como uma alternativa. Atualmente, o bioetanol é considerado uma das fontes energéticas renováveis e com baixa emissão de carbono, tornando-se uma promissora alternativa para substituição ao petróleo, e sua produção tem sido promovida por muitos países (Bothast, 2005 e Lin, 2006). Segundo (Iye ,2013), a produção global de biocombustíveis cresceu de 16 milhões de m³ em 2000 para mais de 100 milhões de m³ em 2010 e hoje, os biocombustíveis oferecem cerca de 3% do total de combustível de transporte rodoviário a nível mundial com ações de implementação consideravelmente mais altos alcançados em alguns países.

Os EUA e o Brasil sendo responsável por 87,1% dessa produção a partir do milho e da cana de açúcar como matéria-prima, respectivamente, (Iye, 2013). A produção de biocombustíveis de primeira geração, como o etanol de cana de açúcar no Brasil e etanol de milho nos EUA é caracterizado por mercados comerciais maduros e com domínio total da tecnologia, com pouco ou nenhum espaço para melhoria de processos.

A maior parte do bioetanol é produzida a partir de matérias-primas oriundas da cana de açúcar, milho, trigo e cevada, no entanto, o uso destas culturas para produzir bioetanol compete com áreas agrícolas que tem a sua utilização como uma fonte de alimento. Esta competição teve um grande impacto mundial nos preços de alimentos e rações (Shinozaki; Kitamato, 2010). Além disso, a conversão de florestas e pastagens em novas áreas agricultáveis para suprir a demanda de alimentos também tem sido problemática, pois tal mudança no uso da terra aumenta as emissões de gases de efeito estufa (Searchinger, Timothy; Heimlich,Ralph, Houghton, RA; Dong, Fengxia; Elobeid, Amani; Fabiosa, Jacinto e Simla T. 2008). O presente estudo focará especialmente os resíduos provenientes da agroindústria arrozeira.

O arroz (Oryza sativa) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial (Walter Marchezan, E. e Avila, L.A. 2008). O Brasil é o nono maior produto mundial e tem uma safra estimada para 2019 em 11,26 milhões de toneladas (IBGE 2019). A produção está

distribuída nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso. O cultivo de arroz irrigado, praticado na região Sul do Brasil contribui, em média, com 54% da produção nacional, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor brasileiro. As projeções de produção e consumo de arroz, avaliadas pela Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa, mostram que o Brasil vai colher 14,12 milhões de toneladas de arroz na safra 2019/2020.

A cadeia produtiva do arroz ainda enfrenta vários problemas, ainda que seja extremamente tecnificada, em especial no que diz respeito ao grande volume de resíduos gerados pelo seu beneficiamento, que apresentam difícil manejo e/ou baixo valor comercial, sendo que destes, apenas 10% podem ser adicionados ao produto final. Após a distribuição dos grãos quebrados adicionados ao produto final, 4% de grãos são geralmente destinados a indústria cervejeira e para alimentação animal (Limberger, Valéria Maria; Silva, Leila Picolli; Emanuelli, Tatiana; Comarela, Carine Gláucia; Patias, Luciana Dalpieve. 2008; Silva, Graziela de Oliveira; Takizawa, Fabiano Franco ; Pedroso, Ricardo Alexandre; Franco, Célia Maria Landi ; Magali Leonel; Sarmento, Silene Bruder Silveira e Demiate, Ivo Mottin, 2006).

No processo de beneficiamento do arroz, o farelo de arroz se destaca como importante subproduto, o qual segundo o Instituto Rio-grandense do Arroz vem sendo subaproveitado no montante de mais de um milhão de toneladas/ano (Chaud, L. C. S; Arruda, P. V. e Felipe, M. G. A. 2009). Pelo exposto a produção de bioetanol utilizando a matéria prima de farelo de arroz apresenta-se como uma alternativa. Neste trabalho foi utilizado os complexos enzimáticos comerciais e será investigado o efeito das variáveis agitação e temperatura na produção de etanol.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Farelo de Arroz

Este foi adquirido no moinho na cidade de Santa Maria e sua composição média, foi determinada utilizando a metodologia descrita em Van Soest, Robertson e Lewis (1991). Sua composição está apresentada na tab1.

As enzimas utilizadas neste estudo foram complexo celulolítica de Trichoderma reesei NS50013 (Novozymes Latin American) e um complexo amilolítico STARGEN™ 001 e 002 (Genencor, Brazil).

Tabela 1 - Composição do Farelo de Arroz (base seca).

| **Components** | **(% m/m)** |
|---|---|
| Lignina | 5.4 |
| Hemicelulose | 22.9 |
| Celulose | 9.2 |
| Gordura | 16.5 |
| Amido | 30.8 |
| Proteína | 15.2 |

Fonte: Os autores

### 2.2 Microorganismo e inóculo

Foi utilizada como estirpe a levedura desidratada *Saccharomyces cerevisae* (Fleishmann). A produção de células de pré-inóculo foi realizada em frascos de *Erlenmeyer* com 10 mL de meio contendo (g l-1): sacarose (20.0), extrato de levedura (5.0), K2HPO4 (5.0), NH4Cl (1.5), KCl (1.15) and MgSO4.7H2O (0.65). O meio foi inoculado com 1 g de leveduras desidratadas e incubou-se a 30°C e 150 rpm durante 24 h.

### 2.3 Procedimento experimental para sacarificação enzimática e fermentação

As fermentações foram conduzidas em um biorreator de 3 L. As concentrações de inóculo, farelo de arroz e celulase foram de 15% (v/v), 150 gL-1 e 15% (m/m), respectivamente, o pH foi mantido em 6,8 , amido de milho macerado (AMM) 300ml, água destilada 1350ml e 50 ml de Amilase. As faixas estudadas neste planejamento fatorial foram

definidas tendo como propósito a exploração dos resultados do experimento. As variáveis estudadas foram: Agitação e temperatura. Esse experimento foi conduzido com uma série de temperaturas variando de 30; 35,8; 50; 64,2 e 70ºC, e uma gama de valores de agitação variando de 100; 140,5; 200; 259,5; e 300 rpm. Após 19 horas de hidrólise foi adicionado o inóculo e na sequência o processo de sacarificação e fermentação foi simultânea até completar 48 horas.

### 2.4 Açúcares fermentáveis e determinação de etanol

Após a fermentação, o meio foi centrifugado a 4 ° C, 15000 rpm durante 15 minutos para a separação de sólidos e uma alíquota de 1 ml de sobrenadante foi utilizado para determinar a quantidade de açúcares fermentáveis pelo Método ácido 3,5 dinitrossalicílico (Miller, 1959). Outra aliquota de 5 ml do supernadante foi usada para determinação do conteúdo de etanol contida usando um alcolyzer at 25°C (Alcolyzer Wine M/WE – Wine Analysis System - Anton Paar, Ashland, USA). Os resultados obtidos foram expressos em g [etanol] kg-1 [substrato seco].

### 2.5 Cálculo e análise estatística

Todos os resultados foram analisados usando o software Statistica® 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA),considerando um nível de significância de 95% para o DCCR.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos no delineamento composto central rotacional para a produção de etanol, bem como a variação da concentração de açúcar, e os níveis do delineamento.

Baseado nos dados da tab. 2, para as duas variáveis estudadas, agitação e temperatura foi possível analisar a produção de etanol em gramas de etanol por quilograma de farelo de arroz (g/kg) e a formação de concentração de açúcares redutores totais em diferentes tempos de análise; sendo: 0, 19 e 48 horas, além da eficiência do processo. A mesma tabela apresenta os resultados dos 11 experimentos realizados. Após 19 horas de hidrólise e sacarificação foi adicionado o inóculo. Observou-se que houve uma variação na produção de etanol numa faixa entre 33,66 até 182,52 gramas de etanol por quilograma de farelo de arroz. Pela tabela apresentada fica demonstrado que os experimentos 1, 2, 6, 7, 10 e 11 apresentaram os melhores resultados. Em todos os experimentos foi fixado 150 gramas de farelo por litro.

O melhor resultado foi obtido no experimento número 1, com 182,52 gramas de etanol por quilograma de farelo, observa-se também que o rendimento desse experimento foi de 89%, e que a produção de açúcar redutor foi quase todo consumido disponível no meio, restando como resíduo 0,53 gramas por litro de açúcar. Para o melhor experimento temos uma rotação na agitação de 140,5 rpm (rotações por minuto); segundo Cardoso (2007), a levedura possui dois tipos de metabolismo celular: oxidativo e fermentativo podendo estes fatores afetar na produção de etanol. No experimento 1, para melhor produção de etanol obtemos uma temperatura de 35.8 ºC. Segundo Lima (2001) as temperaturas ótimas para a produção industrial de etanol situam-se na faixa de 26 a 35ºC, mas não raramente a temperatura nas destilarias alcança 38ºC.

Nos experimentos realizados com leveduras e enzimas, (Öhgren, K.; Bura, R.; Lesnicki, G.; Saddler, J. e Zacchi, G., 2007), obteve a melhor temperatura em 37ºC para produção de etanol. À medida que a temperatura aumenta a velocidade da fermentação também aumenta, mas favorece a contaminação bacteriana, ao mesmo tempo em que a levedura fica mais sensível à toxidez do etanol. Ribeiro (2006) sugere que a temperatura ideal para a multiplicação das leveduras situa-se entre 28º a 30ºC. Para Cazetta (2007), vários estudos têm demonstrado que temperaturas acima de 37ºC são prejudiciais para produção de etanol.

Na tabela 2 é possível observar que o resultado menos favorável em relação aos demais está no experimento número 4 com 33,66 gramas por quilograma de farelo de arroz, embora tenha sido obtida a melhor produção de açúcar, 24,98 gramas por litro em 19 horas de hidrólise, e tenha um resíduo de açúcar redutor de 8,6 gramas por litro. Isto deixa evidente que a máxima produção de açúcar redutor total não converteu em máxima produção de etanol, com a probabilidade de o açúcar ter atuado como inibidor do processo fermentativo.

No experimento 4 observou-se uma temperatura de 64,2ºC prejudicial conforme é explicado pela literatura, para o experimento obteve-se um rendimento de apenas 16%, verificou-se também uma agitação de 259,5 rpm (rotações por minuto), que no caso foi prejudicial possibilitando um efeito oxidativo na levedura. Estudos têm demonstrado que a rotação situando-se em torno e 150 rpm (rotações por minuto), a produção celular se dá em ponto ótimo, controlando a transferência de oxigênio por meio da aeração.( Hassan, H. e Karim, K. A. 2015.)

Tabela 2 - Matriz dos resultados da produção de etanol obtidos nos Ensaios de DNS nos tempos de 0, 19, e 48 horas.

| Experimento | Agitação (rpm) | Temperatura (°C) | Etanol (g etanol/kg farelo) | ART 0h (g/L) | ART 19h (g/L) | 48 ART (g/L) | Eficiência (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -1(140,5) | -1(35,8) | 182,52 | 1,51 | 1,07 | 0,53 | 89 |
| 2 | 1(259,5) | -1(35,8) | 179,89 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 87 |
| 3 | -1(140,5) | 1(64,2) | 46,29 | 1,89 | 3,5 | 2,39 | 22 |
| 4 | 1(259,5) | 1(64,2) | 33,66 | 7,29 | 24,98 | 8,6 | 16 |
| 5 | -1,41(100) | 0(50) | 62,07 | 6,26 | 6,19 | 9,8 | 30 |
| 6 | 1,41(300) | 0(50) | 101,52 | 1,03 | 3,01 | 1,87 | 50 |
| 7 | 0(200) | -1,41(30) | 132,55 | 5,06 | 0,63 | 0,51 | 65 |
| 8 | 0(200) | 1,41(70) | 90,47 | 8,09 | 5,92 | 5,92 | 44 |
| 9 | 0(200) | 0(50) | 84,69 | 0,65 | 2,53 | 1,14 | 42 |
| 10 | 0(200) | 0(50) | 108,88 | 7,07 | 10,2 | 8,49 | 53 |
| 11 | 0(200) | 0(50) | 137,81 | 4,26 | 1,91 | 5,21 | 67 |

Fonte: Os autores

Para o experimento 2 que obteve-se uma produção de etanol de 179,89 gramas de etanol por quilograma de farelo de arroz, ligeiramente inferior que o experimento 1, e um resíduo de açúcar de 0,03 gramas por litro, mostrando que houve a maior conversão de açúcar redutor total em 48 horas, nessa situação a rotação situou-se em 200 rpm e uma temperatura de 35,8ºC, desta forma verifica-se que o efeito da rotação foi ligeiramente prejudicial a produção de etanol.

Ficou demonstrado nos experimentos que em 19 horas a produção de açúcar redutor variou entre 0,04 até 24,98 gramas por litro. Nos pontos centrais o valor que está em destaque é 137,81 gramas por litro tendo como resíduo um valor de 5,21 gramas por litro de açúcar no ensaio 11.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da ANOVA (Análise da Variância) para a resposta Produção de Etanol.

Pelos resultados analisados, verifica-se que o modelo teve um ajuste muito baixo para o coeficiente de regressão, com apenas 64% é possível observar também pela tabela onde mostra a estimativa dos efeitos que somente a variável 2 ou seja a variável temperatura linear tem um efeito significativo, no entanto este efeito influencia negativamente o modelo, é possível concluir o aumento da temperatura inibe a produção de etanol. O mesmo efeito é apresentado na tab. 4 onde fica evidente o efeito da temperatura sobre a produção de etanol.

Tabela 3. Tabela ANOVA para variável dependente produção de etanol

| Fatores | ANOVA; Var.: Var 3; $R^2$= 0,64779; Adj:, 29558<br>Resíduo= 1724,48 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Soma quadrática | Grau de Liberdade | Média Quadrática | Valor F | Valor P |
| (1) Var. 1 (L) | 204,27 | 1 | 204,27 | 0,118453 | 0,744721 |
| (2) Var. 2 (L) | 14646,36 | 1 | 14646,36 | 8,493208 | 0,033233 |
| Var. 2 (Q) | 93,34 | 1 | 93,34 | 0,054127 | 0,825256 |
| 1L por 2L | 25,00 | 1 | 25,00 | 0,014497 | 0,908852 |
| Erro | 8622,40 | 5 | 1724,48 | | |
| Total | 24480,79 | 10 | | | |

Fonte: os autores.

Tabela 4 – Coeficiente de Regressão para variável dependente produção de etanol.

| Fatores | Efeitos estimados: Var.3 ; Coeficiente de Regressão= 0,64779; Adj: 0,29558 Resíduo= 1724,48 - 11 experimentos | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coef. Regressão | Erro padrão | t (5) | P | Lim. de confiança - 95% | Lim. de confiança + 95% |
| | 110,4044 | 23,97526 | 4,60493 | 0,005814 | 48,774 | 172,0347 |
| (1)Var. 1(L) | 10,1212 | 29,40770 | 0,34417 | 0,744721 | -65,474 | 85,7161 |
| Var.1 (Q) | -21,7289 | 35,09103 | -0,61921 | 0,562895 | -111,933 | 68,4756 |
| (2)Var.2(L) | -85,7032 | 29,40770 | -2,91431 | 0,033233 | -161,298 | -10,1083 |
| Var. (Q) | 8,1640 | 35,09103 | 0,23265 | 0,825256 | -82,040 | 98,3383 |
| 1L por 2L | -5,0000 | 41,52685 | -0,12040 | 0,908852 | -111,748 | 101,7482 |

Fonte: Os autores

## 4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi avaliado a produção de etanol, sendo que o inóculo foi adicionado 19 horas após a hidrólise enzimática e na sequência do processo a hidrólise foi simultânea com a fermentação. Foram utilizadas como variáveis independentes para a pesquisa a agitação e a temperatura e variável dependente a produção de etanol. Foi possível verificar através da ANOVA que as variáveis estudadas não produzem efeitos significativos no modelo proposto. Para o experimento a melhor condição para produção de etanol ficou demonstrada no ensaio 1 onde obteve-se 182,52 g/kg de etanol, nas condições de 140,5 rpm e 35,8ºC. É importante salientar que o uso do farelo de arroz requer um sistema de mistura para evitar a precipitação da matéria prima, o que resultaria na redução da conversão devido às limitações de transferência de massa.

## 5. REFERÊNCIAS

Balat, M., 2007. "An overview of biofuels and policies in the European Union". *Energy sources*, Part B: Economics, Planning and Policy 2 (2), 167–181.

Ballesteros, I.; N, Ma José; Oliva, José Miguel; Cabañas, Araceli; Manzanares, Paloma; e Ballesteros, Mercedes 2006. "Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw". *Applied Biochemistry and Biotechnology*, p.496-508.

Biazus, J.P.M; Souza,Anderson Gomes; Santana, José Carlos Curvelo; Souza, Roberto Rodrigues de; Tambougi, ; Elias Basile. 2005. "Optimization of drying of Zea mays malt to use as alternative source of amylolytics enzymes". *Brasilian Archives of Biology and Technology*, Vol. 48, n. especial, p.185-190.

Bothast, R. J.; Schlicher, M. A., 2005. "Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol". Appl. *Microbiol. Biotechnol.*

Campbell, C.H; Laherrere J.H., 1998. "The end of cheap oil". *Scientific American*. p. 78-83.

Cardoso, M. G.; Campos, Gustavo Azevedo., 2007 "Cachaça: Qualidade e Produção." Editora Ufla.

Cazetta, M.L; Celligoi, M.A.P.C; Buzato, J.B; Scarmino, I.S., 2007. "Fermentation of molasses by Zymomonas mobilis: Effects of temperature and sugar concentration on ethanol production". *Bioresource Technology*, Vol. 98, p. 2824–2828

Chaud, L. C. S.; Arruda, P. V.; Felipe, M. G. A., 2009. "Potencial do Farelo de Arroz para Utilização em Bioprocessos". Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena – USP Lorena – SP.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária)., 2001 "Sistemas de produção." <http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/fonthtml/arroz>. Acesso em jun. 2015.

FERMENTEC S/C LTDA., 1978. "Processo de Fabricação de álcool." Piracicaba, SP, 108 p.

Pelaez, H. C.; BETANCUR, M. C.; GOMEZ, C. M.; CÁRDENAS, A. A. Produción de etanol a partir de harina de yuca em um sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultânea. ISSN 0012-7353.

HASSAN, H.; KARIM, K. A. "Optimization of alpha amylase production from rice straw using solid-state fermentation fo Bacillus subtilis". *International Journal of Science, Environment and Technology*, Vol.4, n.1, pg. 1-16, 2015.

IBGE (Empresa Brasileira de Geografia e Estatística), 2019. "Agência IBGE Notícias" https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23359-ibge-preve-safra-de-graos-1-7-maior-em-2019> Acesso em setembro de 2019.

Iye, E.; Bilsborrow, P., 2013. "Cellulosic ethanol production from agricultural residues in Nigeria". Energy Policy 63 (2013) p.207–214 *Science Direct*.

Kim, S.; Dale, B. E., 2004. "Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues, *Biomass Bioenergy*."

Lima, U. A.; Aquarone, Eugênio; Borzani, Walter; Schmidell, Willibaldo., 2001. Biotecnologia Industrial, Processos Fermentativos e Enzimáticos. Vol. 3, lª edição Editora Edgard Blücher, São Paulo.

Limberger, Valéria Maria; Silva, Leila Picolli; Emanuelli, Tatiana; Comarela, Carine Gláucia; Patias, Luciana Dalpieve; *et al.*, 2008. *"*Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos.*"* *Química Nova*, São Paulo, Vol. 31, n.1, p. 84-88.

Lin, Y.; Tanaka, S., 2006. "Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*

Miller, G.L. Use of Dinitrosalicylic Acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem 31:426–428.

MAPA (Ministério da Agricultura Abastecimento e Pecuária), 2014 "Arroz." Brasília <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>. Acesso em jun. 2014.

Öhgren, K.; Bura, R.; Lesnicki, G.; Saddler, J.; Zacchi, G., 2007. "A comparison between simultaneous saccharification and fermentation and separate hydrolysis and fermentation using steam-pretreatment corn stover". *Process Biochem*. Vol. 42, p. 834–839.

Reguly, J. C., 1996. Biotecnologia dos Processos Fermentativos. Editora Universitária/UFPel, 330p.

Ribeiro, E. J., 2006. "Apresentação Dia Nacional do Profissional da Química e II Escola da Química".

Searchinger, Timothy; Heimlich,Ralph, Houghton, RA; Dong, Fengxia; Elobeid, Amani; Fabiosa, Jacinto; Simla T. , 2008. "Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change*"*. *Science*.

Shinozaki, Y.; Kitamoto, H. K., 2010. "Ethanol production from ensiled rice straw and whole-crop silage by the simultaneous enzymatic saccharification and fermentation process*"*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*.

Silva, G. O; Takizawa, Fabiano Franco ; Pedroso, Ricardo Alexandre; Franco, Célia Maria Landi ; Magali Leonel; Sarmento, Silene Bruder Silveira ; Demiate, Ivo Mottin. 2006. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, Vol. 26, n.1, p. 188-197.

Ferreira, S; *et al.*, 2009. "Response surface optimization of enzymatic hydrolysis of Cistus ladanifer and Cytisus striatus for bioethanol production". *Biochemical Engineering Journal* Vol.45, p. 192–200.

Tyner, W. E., 2007. "The US ethanol and biofuels boom: its origins, current status and future prospects". *Bio Science* Vol.58, p. 646–653.

Uihlein A.; Schbek L., 2009. "Environmental impacts of a lignocellulosic feedstock biorefinery system: an assessment*"*. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, p 793-802.

Walter, M.; Marchezan, E.; Avila, L.A., 2008. "Arroz: composição e características nutricionais*"*. *Ciência Rural*, Santa Maria, Vol.38, n.4, p.1184-1192.

Van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. Methods for dietary, neutral detergent, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, Champaign, Vol. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# SÍNTESE DE MATERIAIS MESOPOROSOS DO TIPO MCM-48 UTILIZANDO CINZAS DE CASCAS DE ARROZ COMO FONTE ALTERNATIVA DE SILÍCIO

**Victor De Aguiar Pedott**[1]
**Ricardo Macieski**[1]
**Iemedelais Bordin**[1]
**Diego Ivan Petkowicz**[2]
**Diana Finkler**[2]
**João Henrique Zimnoch dos Santos**[3]
**Marcelo Luís Mignoni**[1]
**Rogério Marcos Dallago**
1-Universidade Regional Integrada – URI Campus Erechim
2- Marina Tecnologia
3- Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
v.a.pedott@gmail.com
ricardo.jorge16@hotmail.com
bordiniemedelais@hotmail.com
diego@marinatecnologia.com.br
diana@marinatecnologia.com.br
00009428@ufrgs.br
mignoni@uricer.edu.br
dallago@uricer.edu.br

***Resumo.*** *Materiais da família M41s, estão sendo utilizados como substitutos de zeólitas em diferentes processos, além de terem vantagens como maior área superficial e diâmetro de poro, sendo um material mesoporoso, diferente das zeóltas que são materiais microporosos. Sua síntese pode ser realizada de maneira simples a temperatura ambiente, outra vantagem em relação as zeólitas, pois estas necessitam de altas temperaturas para serem sintetizadas. Materiais do tipo MCM podem ser obtidos utilizando diferentes fontes de sílica em sua síntese, uma delas é a cinza de casca de arroz, (CCA), por ter grandes concentrações de sílica em sua composição, esta pode ser removida através de tratamento com hidróxido de sódio, gerando soluções de silicato de sódio, este, proveniente de um resíduo agroindustrial Através dos resultados obtidos das análises de DRX, verificou-se que a síntese do material mesoporoso do tipo MCM-48 utilizando CCA como fonte de sílica, em temperatura ambiente realizada neste trabalho, se mostrou eficiente, gerando resultados idênticos ao encontrado na literatura (Síntese com silício comercial), sendo então a síntese de materiais do tipo MCM uma alternativa ao uso da CCA, que normalmente é tratada como resíduo.*

***Palavras-chave:*** *MCM; CCA; Resíduo; temperatura ambiente; síntese.*

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar das zeólitas serem conhecidas em sua forma natural desde o século XVIII, foi somente após a obtenção das primeiras formas sintéticas, em 1930, que se tornou visível diversos ramos viáveis para a sua aplicação. As estruturas das zeólitas têm como base, um tetraedro TO4, sendo (T=Si, Al, P, etc.), que fazem ligações entre si através de um átomo de oxigênio, para formar unidades básicas de construção (u.b.c.) (Garcia, 2008).

As zeólitas possuem diversas áreas de aplicação industrial, que abrangem os processos físicos de separação e purificação, e também processos químicos de refino, tais processos são definidos a partir do modelo de sua estrutura. Suas aplicações podem ser como suporte de catalisadores metálicos ou de óxidos metálicos, além de envolver separação por adsorção de catálise de reação envolvendo hidrocarbonetos. Este resultado, se dá devido ao efeito de peneiramento

molecular de reagentes e produtos, que são dependentes do tamanho das cavidades da zeólita e as dimensões das moléculas de reagentes e produtos (Calsavara et al., 2000; Moliner; Martínez; Corma, 2015; Yang, 2003).

Como alternativa ao uso de zeólitas materiais mesoporosos do tipo M41S, desenvolvidos pela Mobil Oil Company em 1992, são utilizados como substitutos de zeólitas em inúmeras aplicações, tendo vantagens em relação as zeólitas como sua grande área superficial, sistema de mesoporos ordenados e raios de poros bem definidos. A MCM-48, material pertencente à família M41S, é uma peneira molecular com arranjo tridimensionais de poros cúbicos (Hoffmann et al., 2006).

O material mesoporoso do tipo MCM-48 pode ser sintetizado de maneira simples a temperatura ambiente com mostrado por Kumar e colaboradores (2001), pois através do uso de direcionadores de estrutura de cadeia longa do tipo n-alquilamina, como líquidos iônicos, e pH básico é possível se obter estruturas de MCM-48 com área superficial e tamanho de poros análogos as MCM-48 sintetizadas através de processos hidrotérmicos.

As MCMs geralmente são sintetizadas de variados de fontes de sílica: silicato de sódio, sílica pirogênica, ortosilicato de tetraetila (TEOS). Devido as grandes quantidades de sílica encontrada na estrutura da cinzas de casca de arroz (CCA), o uso desta para síntese de MCMs torna-se uma alternativa. Este benefício pode colaborar com a diminuição de quantidade de resíduos das cinzas, assim como o aumento de seu valor no mercado (Chiarakorn, 2014).

A casca de arroz (CA), é um resíduo com grande poder calorífico, que chega a ter 33% da capacidade térmica do petróleo, porém, sua queima gera a cinza de casca de arroz (CCA), que possui grandes quantidades de pó de sílica em sua composição. A sílica existente pode ser obtida através de tratamentos físico químicos com diferentes soluções ácidas seguido de lavagem com água deionizada e tratamento com hidróxido de sódio (Possamai et al., 2006). Pela grande quantidade de silício contido na CCA, esta tem potencial de aplicação em diferentes meios, como: Construção civil, tintas, agricultura, síntese de materiais e etc (Garcia, 2008; Gomes; Schwanke; Gusmao, 2018; Ilha; Solteira; bahia, 2007; Lemes et al., 2018; Pereira et al., 2018).

Com base no exposto anteriormente, este trabalho tem o intuito de apresentar um método alternativo para a obtenção de materiais mesoporosos do tipo MCM, a partir da CCA, obtendo um material de alto valor agregado, proveniente de um resíduo agroindustrial.

## 2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

### 2.1 Extração da sílica

Para extração da sílica contida na casca de arroz, se torna necessária a lavagem ácida da mesma, para que assim se torne possível a digestão dos minerais contidos na CCA. A lavagem seguiu a metodologia empregada por (Kalapathy; Proctor; Shultz, 2000), primeiramente a CCA foi lavada com agua deionizada para remoção de impurezas e sujidades, seguidas por filtragem a vácuo e secagem em estufa, após a lavagem, 30g de amostra foram submetidas a calcinação a 500 °C por 16h, seguida por lavagem ácida em solução de 300 mL de água destilada, onde o pH foi ajustado a 1 com HCl (6M) e deixado em agitação por 2h, seguido por secagem em estufa.

Após o tratamento ácido da CCA, a sílica foi extraída da estrutura através de tratamento com NaOH (2M) para assim gerar um solução de silicato de sódio ($Na_2SiO_3$), a quantidade residual de CCA foi colocada em balão contendo 300 mL da solução de NaOH, e então acoplado em sistema de recirculação de água e aquecido até a ebulição por 4h. Ao termino do tempo de extração a solução residual foi filtrada a vácuo e armazenada. O excesso de casca de arroz foi seco para posterior pesagem.

### 2.2 Síntese da MCM-48 utilizando CCA como fonte de sílica

A fonte de silício utilizada na síntese foi a solução de silicato de sódio ($Na_2SiO_3$) originada da extração da sílica a partir da CCA, juntamente com liquido iônico [$C_{16}$.MI.Cl] (cloreto de 1-hexadecil-3-metilimidazólio) como direcionador de estrutura. A síntese seguiu o método descrito na literatura por Kumar e colaboradores (2001) com modificações, primeiramente, foram dissolvidos 2,4g de $C_{16}$.MI.Cl em solução contendo 50 mL de $H_2O$ destilada e 50 mL de etanol absoluto, após a diluição, foram adicionados 10 mL de hidróxido de amônio ($NH_4OH$) e deixado em agitação por 10 minutos para homogeneização, a solução foi acidificada utilizando 10 mL de solução HCl 6M até atingindo pH = 1, posteriormente a acidificação, foram adicionados 28 mL da solução de silicato de sódio, e a solução deixada em agitação por 2h em temperatura ambiente, seguida por secagem a vácuo e lavagem com água destilada do material originado.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Extração da sílica a partir da CCA

Foram utilizadas 30g de CCA no processo de extração, após a calcinação, foi observado uma diminuição de 3,521g referentes a matéria orgânica contida no material, a lavagem ácida, utilizando HCl 6M, apresentou diminuição de 0,628g no peso total da amostra, sendo estes valores referentes a uma parcela de minerais contidos na amostra, como evidenciado pela literatura (Kalapathy; Proctor; Shultz, 2000b). A amostra gerada após o tratamento com 300 mL de hidróxido de sódio, mostrou uma redução de 17,746g, sendo este o $SiO_2$ que interagiram com a solução, resultando na solução contendo silicato de sódio ($Na_2SiO_3$).

A partir da solução de silicato de sódio, foi possível fazer a precipitação da sílica reduzindo o pH da solução entre 6 e 7 com HCl 1M, seguido por secagem em estufa a 80 ºC. Análises de difrações de raios X foram realizados na amostra seca, como ilustrado na Figura 1 a seguir.

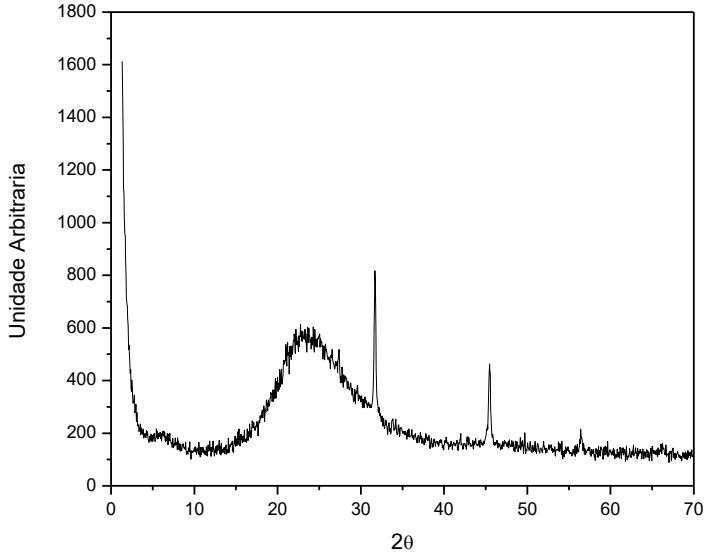



**Figura 1:** Análise de difração de raios X da sílica precipitada

Como foi possível observar na Figura 1, podemos confirmar tratar-se de uma amostra amorfa de sílica, pois a estrutura não apresenta um halo entre 15-30 graus 2 theta, que é típico da forma estrutural da CCA. No entanto são observados picos em 32 e 46 graus 2 theta, estes são referentes a fase cristobalita (Daniel; Angel; Pineda, 2009; Della; Kühn, 2001; Possamai et al., 2006).

### 3.2 Síntese de MCM-48 utilizando sílica proveniente de CCA

O sólido resultante obtido foi analisado por difração de raios X (DRX). Tal resultado está apresentado na Figura 2.

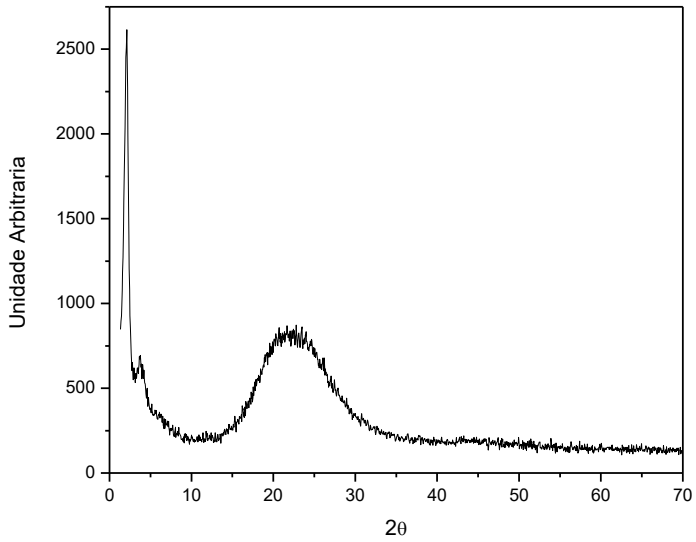



**Figura 2:** DRX do sólido sintetizado utilizando CCA como fonte de sílica.

Observando a Figura 2, é possível verificar a formação do material mesoporoso do tipo MCM-48 utilizando CCA como fonte de sílica, pois o difratograma obtido pela análise de DRX corresponde aos resultados encontrados na literatura (Schumacher; Grün; Unger, 1999), sendo assim, a CCA é uma boa alternativa para a síntese de materiais mesoporosos do tipo MCM-48.

## 4. CONCLUSÃO

Através dos resultados apresentados neste trabalho, foi possível concluir que é possível utilizar-se o silício proveniente das cinzas de casca de arroz, como fonte de sílica para a síntese de materiais mesoporosos do tipo MCM-48. O sólido obtido após a análise de DRX, quando comparado com resultados descritos na literatura, apresenta-se com padrões idênticos. Desta forma, além de reutilizar um resíduo, que por muitas vezes, causaria danos ao meio ambiente e ao ser humano pelo descarte inapropriado, obtém-se um material de alto valor agregado.

## 5. AGRADECIMENTOS

Capes, Fapergs, CNPq e a URI-Erechim

## 6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALSAVARA, V. et al. Estudo da metodologia de síntese de zeólitas ZSM-5. **Acta Scientiarum**, v. 22, p. 1178–1184, 2000.

CHIARAKORN, S. Structure of Mesoporous MCM-41 Prepared from Rice Husk Ash Structure of Mesoporous MCM-41 Prepared from Rice Husk Ash. n. January 2005, 2014.

DANIEL, J.; ANGEL, M.; PINEDA, G. CARACTERIZAÇÃO DE CINZA OBTIDA POR COMBUSTÃO DE CASCA DE ARROZ EM REATOR DE LEITO FLUIDIZADO. **Química Nova**, v. 32, n. 5, p. 1110–1114, 2009.

DELLA, V. P.; KÜHN, I. CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ PARA USO COMO MATÉRIA-PRIMA NA FABRICAÇÃO DE REFRATÁRIOS DE SÍLICA. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 778–782, 2001.

GARCIA, L. S. **Influência dos Parâmetros de Síntese nas Propriedades da Zeólita MCM-22**. [s.l.] Pontifíca Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), 2008.

GOMES, J. F.; SCHWANKE, A. J.; GUSMAO, K. B. **Obtenção da zeólita MCM-22 empregando fontes alternativas de sílica e sua aplicação.** Porto Alegre- RS: [s.n.].

HOFFMANN, F. et al. Silica-based mesoporous organic-inorganic hybrid materials. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 45, n. 20, p. 3216–3251, 2006.

ILHA, C. DE; SOLTEIRA, I.; BAHIA, A. DE CIMENTO PORTLAND COM CINZA DE CASCA DE ARROZ ( CCA ) STUDY OF EXPANSIVE REACTIONS IN MORTAR MADE OF PORTLAND CEMENT WITH RICE HUSK ASH ( RHA ). v. 8421, n. Nbr 12651, p. 72–86, 2007.

KALAPATHY, U.; PROCTOR, A.; SHULTZ, J. A simple method for production of pure silica from rice hull ash. **Bioresource technology**, v. 73, p. 257–262, 2000.

KUMAR, D. et al. MCM-41, MCM-48 and related mesoporous adsorbents: their synthesis and characterisation.

**Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 187–188, p. 109–116, 2001a.

LEMES, E. et al. Aplicação de silicio no solo: Efeito na expressão enzimática de sementes oriundas de plantas de arroz sob estresse salino. **Colloquium Agrariae**, v. 14, p. 129–136, 2018.

MOLINER, M.; MARTÍNEZ, C.; CORMA, A. Multipore zeolites: Synthesis and catalytic applications. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 54, n. 12, p. 3560–3579, 2015.

PEREIRA, P. et al. **SÍNTESE DA PENEIRA MOLECULAR MCM-41 A PARTIR DA SÍLICA OBTIDA DA CASCA DO ARROZ**Santana do livramento, 2018.

POSSAMAI, V. et al. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SÍLICA OBTIDA POR LIXÍVIA ÁCIDA DA CASCA DE ARROZ E SÍLICA OBTIDA POR TRATAMENTO TÉRMICO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ. **Quimica Nova**, v. 29, n. 6, p. 1175–1179, 2006.

SCHUMACHER, K.; GRÜN, M.; UNGER, K. K. Novel synthesis of spherical MCM-48. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 27, n. 2–3, p. 201–206, 1999.

YANG, R. T. **Adsorbent: Fundementals and applications**. [s.l: s.n.].

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluso neste trabalho

CONIGTI

# Engenharia de Alimentos, Engenharia Química e Química Industrial: Meio Ambiente e Tecnologia

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO APLICÁVEIS A ÁREAS CONTAMINADAS POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

**Bruno Marangoni**
**Fernanda Dallazen Lavratti**
**Julia Backes**
**Leonardo Menegon Cieslak**
**Suelen Cristina Vanzetto**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
b-marangoni@outlook.com
fernandadlavratti@gmail.com
julia.b22@hotmail.com
leonardoc00@hotmail.com
suelen@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A contaminação dos recursos hídricos subterrâneos tem gerado preocupações expressivas nos últimos anos, principalmente no que diz respeito aos aquíferos contaminados pelos compostos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno). Devido a elevada solubilidade em água, esses compostos são os constituintes da gasolina mais tóxicos para o homem e o meio ambiente. Essa contaminação tem como uma das principais fontes os tanques de armazenamento dos postos de combustíveis que, ao vazarem, infiltram no solo e contaminam as áreas do entorno. A eliminação desses hidrocarbonetos de petróleo pode ocorrer devido à uma remediação passiva, ou seja, sem a intervenção humana, através da atenuação natural monitorada da contaminação. Porém, as tecnologias ativas visam a eliminação desses poluentes com maior agilidade e recuperação da área afetada em menor período de tempo de acordo com as características geológicas afetadas. Uma estratégia para acelerar a degradação desses contaminantes no solo antes que atinjam as reservas de água é utilizando da biorremediação, na qual os microrganismos que apresentam capacidade de metabolizar esses compostos irão transformá-los em substâncias inertes, CO2 e água. Para obter uma eficiente remoção dos contaminantes do ambiente, várias técnicas de biorremediação foram desenvolvidas, como Biorremediação Passiva, Extração Multifásica (MPE), o Bombeamento e Tratamento, e a Extração de Vapores. Em síntese, a presente revisão buscou enfocar o estado da arte das técnicas de biorremediação de contaminantes em solos, apresentando as recentes aplicações e inovações. Apresenta um relato de como se gerencia as áreas contaminadas, com prioridade no estado do Rio Grande do Sul, onde algumas áreas foram classificadas com suspeitas de contaminação. Conclui-se com a revisão que cabe ao profissional responsável pela descontaminação utilizar da melhor técnica para obter o melhor resultado. Dessa forma, otimiza o processo de recuperação total do solo e contribui para a melhoria ambiental.*

***Palavras chave:*** *BTEX, postos de combustíveis, áreas contaminadas, técnicas de remediação.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2000 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução 273/00 que estabeleceu, em âmbito nacional, a obrigatoriedade do licenciamento ambiental dos postos de combustíveis. A implementação de tal resolução impulsionou a identificação de inúmeros passivos ambientais que foram, consequentemente, inseridos no cadastro de áreas contaminadas no Estado do Rio Grande do Sul.

Desta forma, um assunto que já era alvo de preocupação no Brasil ganhou mais destaque e demandou mudanças em sua gestão, e essas mudanças são estudadas neste trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o aumento populacional e em consequência das atividades industriais, agravam-se os problemas ambientais, principalmente no que diz respeito à preservação das águas superficiais e subterrâneas. Devido a esse fato, a fiscalização vem se tornando mais presente, assim como a legislação cada vez mais restritiva (TIBURTIUS, 2005).

Os postos de combustíveis compõem uma parte significativa do total dos empreendimentos implantados nos centros urbanos, representando potencialmente uma fonte de impacto ambiental caracterizada por vazamentos de derivados de petróleo no solo, os quais podem conduzir a dois impactos principais:

1) contaminação do solo e das águas subterrâneas por compostos altamente tóxicos, especialmente os hidrocarbonetos aromáticos; e,

2) risco de incêndio e explosões causados pelo acúmulo de combustíveis em estruturas subterrâneas tais como garagens, redes de esgoto, galerias de drenagem e redes telefônicas.

Em um derramamento de gasolina, umas das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam utilizados para o abastecimento de consumo humano. Após atingir a água subterrânea, os contaminantes, derivados do petróleo, são transportados como fase dissolvida e podem atingir os rios e as captações, por meio de poços rasos e profundos. Os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) são os que primeiro atingem o lençol freático, pois são os constituintes que possuem maior solubilidade em água (CORSEUIL, 1992).

Segundo o relatório apresentado em 2001 pela Agência Nacional de Águas, cerca de 70% dos rios que fazem parte das bacias hidrográficas que vão do Sergipe ao Rio Grande do Sul apresentaram altos índices de contaminação, principalmente por efluentes urbanos, substâncias lixiviadas de grandes lixões e agrotóxicos.

No Brasil, existem cerca de 27.000 postos de combustíveis, os quais podem provocar impacto sobre os recursos aquáticos, principalmente envolvendo águas subterrâneas. Ainda não existem estatísticas sobre a magnitude do problema da contaminação por BTX. Entretanto, em função de muitos tanques terem mais de 25 anos de uso, acredita-se que a possibilidade de ocorrerem vazamentos é extremamente grande, principalmente pelo surgimento de rachaduras ou corrosão.

De acordo com a FEPAM (2015), do total de postos cadastrados no Rio Grande do Sul (3.116 áreas), exceto em Porto Alegre, apenas 5,29% foram submetidas a algum processo de remediação do solo e 6,67% foram reabilitados.

Para a remediação de solos e águas subterrâneas impactadas com hidrocarbonetos de petróleo são utilizadas diversas tecnologias que podem ser classificadas em tecnologias ativas e passivas. As ativas são aquelas realizadas pela intervenção do homem e as passivas não, são fruto da biodegradação natural. Dentre as tecnologias ativas podem ser citadas a biorremediação acelerada in situ, aspersão de ar, bioventilação, extração multifásica, etc. A atenuação natural monitorada é considerada uma estratégia de remediação passiva, isto é, sem a intervenção do homem.

Desta forma o trabalho desenvolvido apresentou diferentes técnicas de remediação que vêm sendo utilizadas para postos de combustível, mostrando as etapas fundamentais para aplicação de um sistema de remediação que seja eficiente para as características hidrogeológicas do local. A escolha do sistema de remediação deve ser realizada criteriosamente uma vez que as diversas técnicas existentes apresentam limitações relacionadas as características dos meios geológicos.

## 3. METODOLOGIA

Conforme o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001), as tecnologias in situ, são aquelas onde o processo de remediação ocorre com a implementação de mecanismos que acelerem o processo de degradação dos contaminantes sem que eles necessitem ser removidos. São exemplos de remediação in situ a biorremediação, e a extração de vapores. Os sistemas baseados na remediação ex situ, são aqueles onde por meio de bombeamento ou escavação, remove-se solo, água subterrânea e os contaminantes do subsolo e depois da separação de fases eles recebem tratamento nessa mesma área sem que seja necessário o seu transporte. E por último no sistema off site após a remoção e separação de fases, toda a massa removida é transportada para um local onde receberá o tratamento adequado ou será disposta.

Conforme dados da CETESB (2005), das 1193 áreas que estavam sendo remediadas, 82% estavam sendo atendidas por alguma das seguintes técnicas: bombeamento e tratamento, recuperação de fase livre, extração de vapores, remoção de solo/resíduo e extração multifásica. A seguir serão apresentadas brevemente as técnicas de remediação mais utilizadas.

### 3.1 Extração multifásica (MPE)

A extração multifásica ocorre por meio da instalação de um sistema de ventilação a vácuo, onde os poços de extração ficam distribuídos na área de interesse. Por meio da aplicação do vácuo nos poços de extração, cria-se um gradiente de pressão dirigido para esses pontos, de onde são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante. O gradiente de pressão é diretamente proporcional ao vácuo aplicado, logo, a eficiência na extração das diferentes fases do contaminante será função do sistema a ser implantado.

A mistura bombeada deve ser direcionada para uma caixa separadora de água e óleo, com o combustível recuperado armazenado em tambores e a água contaminada destinada para tratamento em filtro de carvão ativado para posterior reinjeção. O vapor extraído é direcionado para um sistema de carvão ativado e lançado na atmosfera (NOBRE et al., 2003; FURTADO, 2005).

O sistema possui um dispositivo de auto-operação a partir de timers, que devem ser ajustados para intervalos de tempo de operação que otimizem a extração do contaminante da zona não saturada.

### 3.2 Biorremediação

Utiliza-se de técnicas naturais para promover a remediação de uma área impactada, por meio de microrganismos (bactérias e fungos) para degradar substâncias ou compostos perigosos aos seres humanos e transformá-los em substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade (TECNOHIDRO, 2001).

Os microrganismos obtêm nutrientes e energia das substâncias orgânicas, os mesmos digerem essas substâncias, presentes em solos e águas subterrâneas, transformando-as, principalmente, em dióxido de carbono e água. Deve-se ter um cuidado com esse tipo de remediação, pois os microrganismos podem gerar substâncias mais tóxicas, tanto para o homem como para o meio ambiente. Alguns deles sobrevivem em condições extremamente adversas, porém outros, sob as mesmas condições, crescem muito lentamente ou morrem. Para que as condições ideais sejam alcançadas, eventualmente, faz-se necessária a adição de ar, nutrientes ou outras substâncias, além de quantidades extras de microrganismos (TECNOHIDRO, 2001).

### 3.3 Bombeamento e Tratamento

É um dos métodos mais antigos de remediação, também conhecido como pump and treat, e consiste em remover águas contaminadas por meio de poços de extração, para que elas possam ser tratadas, ex situ ou off site, e receber disposição adequada. O princípio do método é remover a maior parte possível da água subterrânea contaminada, por meio da advecção, usando poços de extração e bombeando a água até a superfície para tratamento. Consiste fundamentalmente em posicionar estrategicamente um poço (ou série de poços) em uma pluma de contaminação, para extrair a água utilizando bombas e, posteriormente, tratar a água na superfície, mediante o emprego de sistemas que tipicamente empregam filtros, extração de compostos voláteis em torre de aeração (também conhecido como air stripping) ou carvão ativado (CETESB, 2001).

### 3.4 Extração de Vapores

Esse método consiste na extração de vapores do solo por meio da aplicação de vácuo. Com a redução da pressão, um fluxo de ar é induzido na subsuperfície, volatilizando e eliminando os compostos orgânicos voláteis (VOCs). Esse é um método de remediação in situ para tratar compostos orgânicos voláteis. Originalmente, a tecnologia foi usada para remover os vapores do solo, prevenindo a migração de vapores para edificações. Adicionalmente à volatilização, o sistema também remove alguns hidrocarbonetos por biodegradação. A volatilização ocorre quando o fluxo de ar entra em contato com hidrocarbonetos residuais, ou com películas de água contendo hidrocarbonetos dissolvidos. A biodegradação ocorre porque o fluxo de ar induzido fornece oxigênio para a biodegradação aeróbica (CETESB, 2001).

## 4. CONCLUSÃO

Considerando os diversos poluentes, verificou-se que a contaminação do solo e das águas por combustíveis derivados de petróleo é uma preocupação crescente, uma vez que os postos de combustível correspondem 83,6% (Ramires et al., 2011). Tal constatação remete para a necessidade de solução imediata, adotando medidas adequadas de remediação ou intervenção.

Diante da pesquisa realizada, pode-se dizer que dentre as técnicas estudadas não existe uma que atenda a todos os tipos de solo, uma vez que é imprescindível que o profissional responsável conheça as características geológicas do local a fim de maximizar os efeitos de cada uma. Essas medidas visam garantir a saúde pública e a qualidade ambiental, recuperando as áreas contaminadas e evitando que problemas maiores sejam gerados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – (Agência Nacional de Águas, 2002). Estudo das águas subterrâneas. www.ana.gov.br. acessado em agosto de 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2001a. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Projeto de Cooperação CETESB-GTZ 2ª Edição. CETESB, São Paulo, 389p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 273, de 29 de novembro de 2000.

CORSEUIL, H. X. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 50-54, 1992.

FEPAM (2015) Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. http://www.fepam.rs.gov.br/lavra.asp Acesso em maio de 2019.

NOBRE, M. M. M. remediação de solos. Revista Solos e Rochas. 1997. Disponível em: http://maquina.com.br/revista/qd417/solo5.htm. Acesso em julho 2005.

Ramires, J. Z. S.; Ribeiro, W. C. Gestão dos Riscos Urbanos em São Paulo: as áreas contaminadas. Confins (Paris), v. 13, p. 13, 2011.

Tecnohidro Projetos Ambientais. Plano de Gerenciamentos Ambiental. São Paulo, 2001.

TIBURTIUS R. L.; et al. Degradação de BTXS via processos oxidativos avançados. Química Nova. São Paulo, v. 28, n. 1, p. 61-64, 2005.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO UTILIZANDO ELETROFLOCULAÇÃO

**Gediel Adriano Klein**
**Lucas Soccol**
**Marcelo Hemkemeier**
Universidade de Passo Fundo – UPF – Passo Fundo/RS
176381@upf.br, 175581@upf.br, marceloh@upf.br
**Crivian Pelisser**
Faculdade de tecnologia SENAI – Chapecó/SC
Crivian.pelisser@edu.sc.senai.br

***Resumo:*** O presente estudo avaliou a eficiência do processo de eletrofloculação (EC) para o tratamento de efluentes de uma indústria de papel reciclado em comparação com o método físico-químico aplicado atualmente pela empresa. O desempenho da EC foi analisado, variando os materiais dos eletrodos (Al e Fe), métodos tradicionais utilizados na indústria de papel e celulose, porém na tentativa de encontrar uma solução mais eficiente que os métodos até então propostos, foi realizada uma terceira condição de ensaio, utilizando eletrodo de Al com adição de polímero aniônico. A validação dos resultados se deu através da medição dos índices de pH, DQO, cor, turbidez, fósforo, óleos e graxas, FDS, TDS e TSS. A remoção máxima de DQO foi obtida na condição T3B1, com valores 13,68% menores, os resultados de cor foram mais eficientes com Al, a turbidez atingiu valores de até 76,32% com Fe, já os índices de fósforo reduziram em 89% na condição T1B2. Os resultados de pH, óleos e graxas, FDS, TDS e TSS foram similares as literaturas e atendem as legislações vigentes. Portanto o processo de eletrofloculação se mostrou eficiente no tratamento de águas residuais da indústria de papel reciclado, obtendo resultados superiores ao método físico-químico.
***Palavras chave:*** *eletrofloculação, Alumínio, Ferro, efluente, papel reciclado*

## 1. INTRODUÇÃO

As indústrias de fabricação de papel a partir da celulose vêm crescendo significativamente nos últimos anos, cerca de 30 % ao ano (AZEVEDO, *et al*, 2018a). Esse fato se deve a crescente evolução do consumo de papéis e seus derivados (BRASIL, 2018) e (TOCZYIOWSKA, 2017). Porém com o crescente viés ecológico, aliado a busca pela sustentabilidade, o uso do papel reciclado tornou-se necessário e viável, pois através da reciclagem é possível gerar economia de energia, diminuir o desmatamento e reduzir a exploração do Meio Ambiente. Aliado a esses fatores, os índices de reciclagem de papel vêm crescendo a cada ano, impulsionando a economia e gerando novos empregos (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017). Contudo, devido ao aumento da reciclagem, há também um aumento na geração de resíduos provenientes do processo, e estes resíduos necessitam de tratamento adequado em detrimento às legislações vigentes (AZEVEDO, *et al*, 2018b).

O processo físico-químico é o mais utilizado atualmente para tratamento de águas residuais das indústrias de papel e celulose e papel reciclado (ASHRAFI, *et al*, 2015). Esse processo de tratamento utiliza a adição de polímero para flotação ou decantação, formando o lodo (TOCZYIOWSKA, 2017) e posterior tratamento biológico em lagoas aeróbias, anaeróbias, facultativas ou de lodo ativado (VASHI, *et al*, 2018). Porém pesquisas realizadas por (KAMALI, 2019), (KAMALI, 2015) e (CHEN, 2004) demonstram que existem outras técnicas ainda pouco estudadas para o tratamento de efluentes oriundos da indústria de papel e celulose. O processo de eletrofloculação/eletrocoagulação (SASSON, *et al*, 2009) e (MELCHIORS, 2016) consiste em conduzir pelo efluente uma corrente elétrica (ajustada ao tipo de efluente), fazendo com que se crie um ambiente no qual ocorrem várias reações químicas, a principal delas é liberar moléculas ou íons do eletrodo, estas moléculas ou íons formam flocos que irão flotar ou sedimentar, dependendo da característica do efluente a ser tratado (REILLY, 2019). Um esboço simples do processo pode ser visto na Fig. 1 (BRITO, 2012).

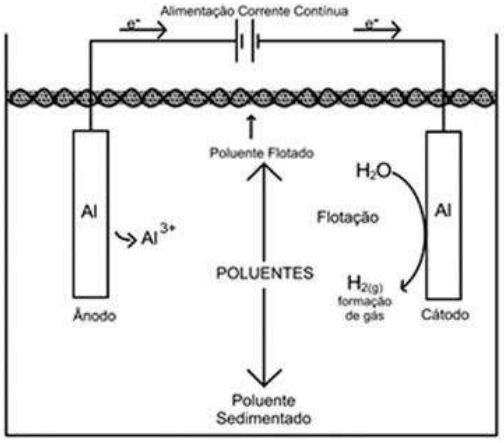



Figura 1. Esquema de funcionamento do processo de eletrofloculação

Já no processo de eletrooxidação não há a liberação de moléculas dos eletrodos para o meio, favorecendo a ocorrência de outras reações como a quebra de moléculas maiores em moléculas menores, bem como a oxidação completa (conversão do poluente em gás carbônico (CO2) e água) (CHEN, 2004). Além de reduzir a toxicidade e a carga de poluentes, ambos os processos destacam-se pela capacidade de aumentar a biodegradabilidade do efluente. Este fato favorece as etapas posteriores que utilizam microrganismos, reduzindo o tempo de residência e aumentando a eficiência (VASHI, *et al*, 2018), (KAMALI, 2019) e (CHEN, 2004).

O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência do tratamento de efluentes pelo processo de eletrofloculação (GÖNDER, 2017) de uma indústria de reciclagem de papel da Região de Chapecó, em comparação ao processo físico-químico empregado atualmente (IOANNOU, *et al*, 2015), (HEAVEN, 2012) e (MAZHAR, 2019). Para a realização do efluente foram utilizados eletrodos de alumínio (Al) e ferro (Fe), pois (GÖNDER, 2017), (OMWENE e KOBYA, 2018) (VERMA, 2017) e (ELAZZOUZI, *et al*, 2019) já demonstraram em seus estudos que os mesmos são os mais vantajosos para este processo. Para a validação dos resultados foram realizados testes de DQO, cor, turbidez, pH, fósforo, óleos e graxas, sólidos dissolvidos fixos e totais além de ensaio de sólidos suspensos por filtração, (TRAN, 2017) com o objetivo de investigar ao máximo a eficiência dos métodos propostos (JAMIESON, *et al*, 2017).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Processo produtivo de reciclagem de papel

A produção de papel reciclado ocorre em várias etapas, tais como, preparo de massa, depuração e formação da folha na máquina de papel (PELISSER, *et al*, 2018). O fluxograma da Fig. 2 apresenta o processo simplificado de produção de papel reciclado.

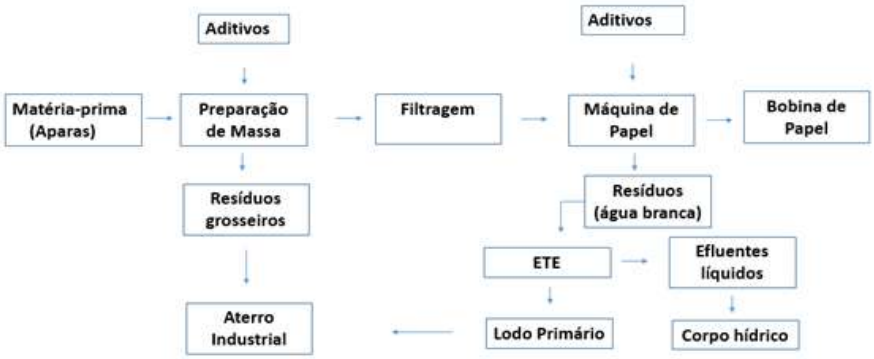



Figura 2. Fluxograma do processo de reciclagem de papel

Para o processo de reciclagem de papel podem ser utilizadas aparas de jornal II, aparas de cartão de fibra curta não revestida, aparas mista I, aparas de papel branco IV, aparas de papel ondulado I, conforme define a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15483 (2009).

O processo de preparo da massa se inicia no desagregador ou hidrapulper, onde forma-se uma suspensão fibrosa chamada de massa. Nesta etapa são removidas impurezas como grampos, clipes, pedras, arames, plásticos, metais e tecidos, após segue-se para o processo de depuração com o objetivo de remover as impurezas menores como plástico,

isopor, metais, pastilhas de papel. A formação da folha ocorre com a distribuição da suspensão fibrosa uniformemente pela tela formadora (tela sem fim) promovendo o entrelaçamento das fibras de papel, segue então para o sistema de secagem para remoção da água, obtendo-se assim as bobinas de papel (PELISSER, *et al*, 2018), (ROBERT, 2007) e (SENAI, 2006).

Durante a formação da folha, parte das fibras de papel são perdidas no processo através do escoamento das fibras pela tela formadora. Esta suspensão fibrosa é chamada de água branca e é encaminhada para a estação de tratamento de efluentes. Na estação de tratamento é realizada a coagulação com a aplicação de sulfato de alumínio e polímero polieletrólito, o lodo decantado passa pelo processo de centrifugação, obtendo-se o lodo primário (TOCZYIOWSKA, 2017) e (PELISSER, *et al*, 2018).

### 2.2 Sistema de ensaio

Para a realização dos ensaios utilizou-se um sistema eletrolítico de laboratório, que consiste na aplicação de eletrodos carregados eletricamente em um béquer de 500 mL contendo o efluente a ser tratado (GÖNDER, 2017). A tensão de ensaio foi setada em 14 Volts, pois tensões menores geram correntes mais altas e aceleram o processo de eletrofloculação (YILMAZ, *et al*, 2005). O tempo de ensaio para cada situação proposta foi de 15 min, pois de acordo com (GOMES, *et al*, 2018) o tempo de exposição do efluente a carga elétrica é fator fundamental para garantir a eficiência do processo. Um esboço do processo realizado pode ser observado na Fig. 3.

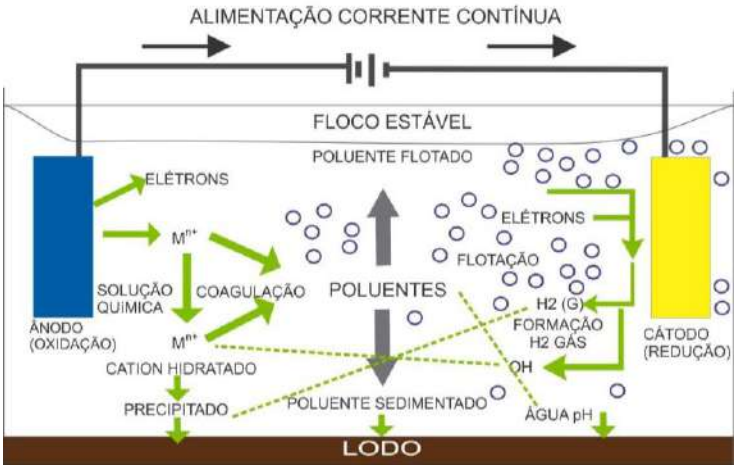



Figura 3. Esboço do funcionamento de eletrofloculação

### 2.3 Planejamento experimental

Para a condução dos ensaios de forma a obter os melhores resultados do processo, foram realizados testes com eletrodos de alumínio e ferro, estes eletrodos foram utilizados anteriormente com sucesso para o tratamento de efluentes da indústria de papel e celulose, apresentando resultados satisfatórios para o processo de eletrofloculação, conforme apresentam (CAMCIOGLU, *et al*, 2017), (KATAL e PAHLAVANZADEH, 2011) e (UğURLU, 2008) em seus estudos.

Com o objetivo de garantir maior precisão dos resultados obtidos, foram realizados testes em duplicata para cada condição, que foram posteriormente filtradas e analisadas para verificação do tratamento realizado com os diferentes eletrodos utilizados. Para facilitar o processo de teste e ensaio, as amostras foram codificadas conforme o Guia. 1.

Tabela 1. Códigos de identificação das amostras.

| Descrição | Código |
|---|---|
| Eletrodo de Alumínio – Primeira batelada | T1B1 |
| Eletrodo de Alumínio – Segunda batelada | T1B2 |
| Eletrodo de Ferro – Primeira batelada | T2B1 |
| Eletrodo de Ferro – Segunda batelada | T2B2 |
| Eletrodo de Alumínio com adição de polímero – Primeira batelada | T3B1 |
| Eletrodo de Alumínio com adição de polímero – Segunda batelada | T3B2 |
| Efluente Bruto – Sem tratamento | Tr |

| | |
|---|---|
| Efluente tratado pela empresa | Br |

A fim de encontrar uma alternativa melhor que os métodos até então propostos, uma terceira condição de ensaio foi proposta, utilizando eletrodo de alumínio com adição de polímero aniônico na concentração de 3 mL.L-1, este polímero tem se destacado no tratamento de efluentes, conforme (CHEN, *et al*, 2012) e (SANYAL, 2015) discutem em seus estudos. Uma amostra de efluente tratado pelo método físico/químico também foi coletada na empresa, para fins de comparação da eficiência do tratamento, desta forma teremos resultados do efluente bruto, do efluente tratado pela empresa e para as três situações propostas neste estudo.

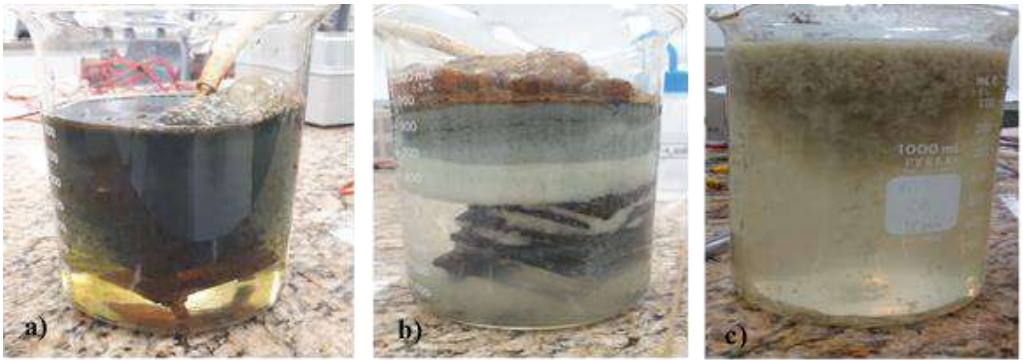



Figura 4: Métodos de ensaios (a) Eletrodo de Al (b) Eletrodo de Fe (c) Eletrodo de Al com adição de polímero.

A Fig 4 ilustra os métodos de ensaios aplicados no referido estudo, sendo que a figura 4a apresenta o processo de eletrofloculação com eletrodo de ferro durante o ensaio. A figura 4b demonstra o processo com eletrodo de alumínio, sendo possível visualizar os sedimentos flotados na parte superior do béquer. Já na figura 4c observa-se o efluente tratado utilizando o eletrodo de alumínio com adição de polímero aniônico, com detalhe para os sedimentos flotados.

### 2.4 Medição dos resultados

A medição dos resultados se deu em conformidade com Standard Methods para todas as bateladas de ensaio realizadas. De acordo com a norma, a medição de cor, turbidez e DQO são as mais importantes na avaliação da eficácia do tratamento proposto, (CAMCIOGLU, *et al*, 2017), (KATAL e PAHLAVANZADEH, 2011) e (MANSOUR, *et al*, 2007) utilizaram os mesmos ensaios para a medição dos tratamentos realizados. Para garantir maior acuracidade dos resultados, os ensaios foram realizados em duplicata para cada batelada de ensaio, desta forma temos 4 medições para cada condição proposta. Para a medição da cor, turbidez e DQO, foi utilizado um Spectroquant Pharo 300 Merck. Os parâmetros de cor, turbidez e DQO são parte fundamental na identificação da eficiência do tratamento proposto de acordo com (YILMAZ, *et al*, 2005), (CAMCIOGLU, *et al*, 2017), e (ZODI, 2011).

Além destes testes, outras características do efluente tratado foram analisadas, como pH, presença de fósforo, análise de óleos e graxas, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos por filtração, estes ensaios complementam a análise da eficácia do tratamento e demonstram dados não perceptivos para a normatização vigente, mas que agregam qualidade aos resultados do tratamento, (KAMALI, 2019), (KATAL e PAHLAVANZADEH, 2011), (JAAFARZADEH, *et al*, 2016) e (BORZOOEI, 2019) realizaram testes similares em efluentes da indústria de papel e celulose. A Fig 5 ilustra as amostras antes dos ensaios serem realizados.

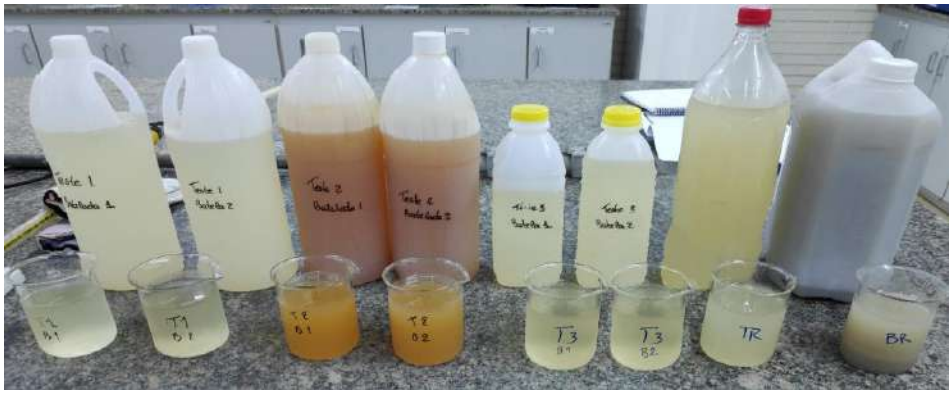



Figura 5: Amostras dos efluentes tratados e do efluente bruto.

O teste de pH foi realizado utilizando um equipamento Tecnal. A medição de fósforo se procedeu em um espectrofotômetro a 880 nm em cubeta, utilizando o branco de água destilada como referência. A análise de óleos e graxas utilizou o procedimento da 5520 Oil and grease - Standard Methods for the examination of water and wastewater, 23th edition (2017).

Os sólidos suspensos por filtração foram analisados através da pesagem das amostras de todas as condições propostas utilizando cadinhos de GOOCH com filtro em centrífuga. Para a medição dos sólidos dissolvidos totais utilizou-se o princípio da gravimetria, onde as amostras foram secadas em forno e posteriormente pesadas para avaliação. A medição dos sólidos dissolvidos fixos foi utilizada para identificar a quantidade de sólidos inorgânicos não voláteis presentes em cada situação proposta, para isto também utilizou-se o princípio da gravimetria, onde as amostras foram secadas em forno e posteriormente pesadas. Todas os ensaios em conformidade com a norma NBR 10664 (1989).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios de eletrofloculação, elaborou-se o Guia. 2, contendo os resultados encontrados para os parâmetros DQO, pH, cor, turbidez, fósforo total, óleos e graxas, sólidos dissolvidos fixos (FDS), sólidos dissolvidos totais (TDS) e sólidos totais suspensos por filtração (TSS).

Tabela 2. Comparação entre os resultados dos ensaios.

| Ensaio | T1B1 | T1B2 | T2B1 | T2B2 | T3B1 | T3B2 | Tr | Br |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DQO ($mg.L^{-1}$) | 3607.0 | 3510.0 | 3531.0 | 3515.0 | 3195.0 | 3205.0 | 3710.0 | 5860 |
| pH | 6.44 | 6.44 | 6.57 | 6.52 | 6.55 | 6.65 | 6.06 | 6.15 |
| Cor ($mg.L^{-1}$) | 2500 | 2200 | 10500 | 10300 | 1700 | 1900 | 2890 | 5200 |
| Turbidez (FAU) | 500 | 400 | 110 | 90 | 195 | 205 | 380 | - |
| Fósforo ($mg.L^{-1}$) | 0.3606 | 0.2952 | 0.4929 | 0.8276 | 0.65 | 0.75 | 2.7 | 4.4374 |
| Óleos e graxas ($mg.L^{-1}$) | 0.576 | 0.2 | 0.234 | 0.226 | 0.176 | 0.165 | 0.304 | 2.316 |
| FDS ($mg.L^{-1}$) | 0.82 | 0.908 | 0.202 | 0.21 | 0.05 | 0.045 | 1.496 | 2.444 |
| TDS ($mg.L^{-1}$) | 0.24 | 0.18 | 0.204 | 0.256 | 0.102 | 0.1204 | 1.776 | 2.73 |
| TSS ($mg.L^{-1}$) | 0.396 | 0.378 | 0.028 | 0.008 | 0.594 | 0.601 | 0.018 | 2.556 |

Observando-se a Tabela 2 e o gráfico da Fig. 6, nota-se que os resultados encontrados para o parâmetro DQO nos métodos de ensaio utilizando eletrodo de alumínio, eletrodo de ferro e eletrodo de alumínio com adição de polímero foram próximos. Resultados semelhantes foram encontrados por (GÖNDER, 2017), (ELAZZOUZI, *et al*, 2019) e (KATAL e PAHLAVANZADEH, 2011) em estudos comparativos com a utilização de eletrodos de Al e Fe para o tratamento de efluentes urbanos e de lavagem de veículos. Em comparação com o método tradicional utilizado pela empresa, houve uma redução de 4,08% utilizando-se eletrodo de Al, 5,04% com eletrodo de Fe e de 13,68% quando utilizamos o eletrodo de Al com adição de polímero, (ZHU, *et al*, 2005) e (HARIF, *et al*¸2012) já haviam estudado as vantagens do método de eletrocoagulação versus a coagulação química para o tratamento de água. Ainda (ŞENGIL e ÖZACAR, 2006) e (ZAIED, 2009) demonstraram a eficiência do método de eletrofloculação na redução de DQO para o tratamento de efluentes da indústria de laticínios e de papel e celulose, essa eficiência na remoção se deve principalmente à corrosão acelerada que é gerada no processo (MORENO, 2007).

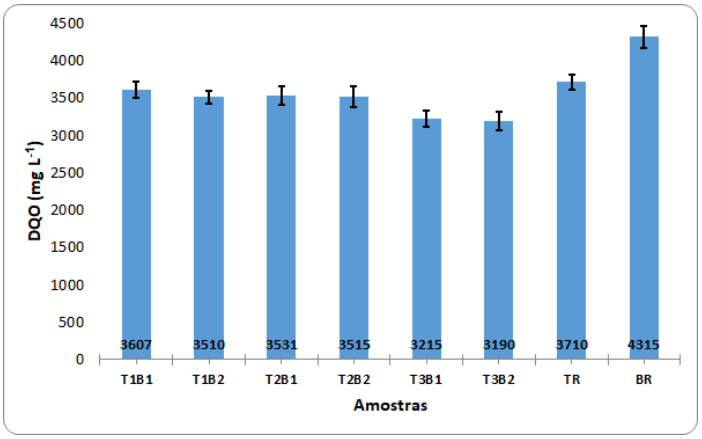



Figura 6: Comparação da análise de DQO com os diferentes métodos aplicados.

Em relação ao pH nota-se a manutenção dos valores em todos os ensaios. Os resultados obtidos para o parâmetro pH estão em acordo com a Resolução Conama 430 de 13 de maio de 2011 que estabelece que o pH para lançamento de efluentes deve estar entre 5 e 9, enquanto a legislação Estadual Nº 14.675, de 13 de abril de 2009 estabelece que o pH para lançamento deve estar entre 6 e 9, logo os ensaios realizados atenderam aos dois critérios estabelecidos pelas legislações. Valores semelhantes de pH foram encontrados por (CAMCIOGLU, *et al*, 2017) e (MANSOUR, *et al*, 2007), em estudos de eletrofloculação para o tratamento de efluente de papel. (KAMALI, 2015), (KATAL e PAHLAVANZADEH, 2011) e (ZAIED, 2009) ainda demonstram que estes valores de pH oferecem um rendimento maior para a diminuição dos valores de DQO.

A cor apresentada pelos resultados divergiu entre si, os eletrodos de alumínio para ambas as situações (T1B1, T1B2, T3B1 E T3B2) apresentaram resultados satisfatórios (MANSOUR, *et al*, 2007) enquanto que os testes com eletrodos de ferro (T2B1 E T2B2) apresentaram resultados superiores, isso se deve a dissolução do ferro no efluente e foi observada por (KATAL e PAHLAVANZADEH, 2011) e (ZAIED, 2009) em seus estudos. Em contrapartida os testes de turbidez apresentaram resultados positivos para todas as condições propostas, se destacando o eletrodo de ferro que obteve valores de até 76,32% menores em comparação ao método físico-químico, para a condição T3B2, (CAMCIOGLU, *et al*, 2017) e (ZODI, 2011) já haviam encontrado resultados semelhantes em testes de efluente de papel e celulose.

Analisando-se o parâmetro fósforo, percebe-se que os resultados encontrados nos ensaios com eletrodo de alumínio, eletrodo de ferro e eletrodo de alumínio com adição de polímero foram semelhantes entre si. Já comparando com o efluente tratado pela empresa, houve uma redução de 89% em relação ao resultado do ensaio T1B2. A legislação Estadual (Nº 14.675) exige que exista uma eficiência mínima de 75% na remoção de fósforo, logo, no ensaio T1B2 atingiu-se uma eficiência de 93,35%. Estes resultados foram superiores aos encontrados por (OMWENE e KOBYA, 2018) e (NGUYEN, 2016) em testes com ambos os eletrodos.

Para o parâmetro óleos e graxas a Resolução Conama 430 de 13 de maio de 2011 estabelece que a concentração de óleos minerais seja de até 20 mg.L-1 critério atendido em todos os ensaios e também no efluente tratado pela empresa, (PRIYA, 2019) também obteve resultados positivos para a redução de óleos e graxas no tratamento de efluente de lavagem de carros utilizando eletrofloculação. Os sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixo e os sólidos suspensos por filtração apresentaram valores significativamente inferiores aos apresentados pelo tratamento até então utilizado pela empresa, representando um adicional na utilização do processo de eletrofloculação. (BUKHARI, 2008) também conseguiu redução destes sólidos no tratamento de água por eletrofloculação, enquanto que os resultados encontrados por (KATAL e PAHLAVANZADEH, 2011) e (MANSOUR, *et al*, 2007) foram superiores aos apresentados por este estudo, comprovando a eficiência da eletrofloculação no tratamento de efluente da indústria de papel reciclado também para a redução dos sólidos fixos, suspensos e totais.

## 4. CONCLUSÕES

Após a realização dos testes e análise dos resultados, concluímos que os índices de DQO encontrados foram 13,68% menores na condição T3B1, isso representa uma maior eficiência de tratamento, além da possibilidade de aumento da velocidade de tratamento. Os resultados de cor foram mais eficientes utilizando eletrodo de alumínio, já a turbidez atingiu valores de até 76,32% com eletrodo de ferro, porém sofreu aumento nos valores de cor. Os teores de fósforo tiveram redução significativa, chegando a ser 89% menor na condição T1B2. Os resultados de pH óleos e graxas, sólidos dissolvidos fixos (FDS), sólidos dissolvidos totais (TDS) e sólidos suspensos por filtração (TSS) atingiram valores similares a literatura e atenderam também as legislações vigentes. De maneira geral para ambas as condições de ensaio obteve-se resultados positivos, considerando apenas os fatores contemplados por este estudo não há diferença significativa entre os métodos avaliados. A utilização de polímero aniônico produziu resultados ligeiramente superiores em comparação a utilização de eletrodos de Al e Fe, porém a diferença não é significativa e em função do custo adicional do polímero não se justifica a utilização do mesmo, resultados significativos poderiam ser encontrados no tratamento de efluentes mais concentrados [34]. Portanto o processo de eletrofloculação se mostrou eficiente no tratamento de águas residuais da indústria de papel reciclado, reduzindo de maneira significativa os principais parâmetros do efluente tratado, além de obter resultados superiores ao método físico-químico.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Papelão União pela oportunidade de realizar os testes, a empresa Kemia pelo laboratório e equipamento de eletrofloculação e a UPF pelo laboratório para as análises químicas.

## 6. REFERÊNCIAS

ASHRAFI, Omid; YERUSHALMI, Laleh; HAGHIGHAT, Fariborz. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 158, p.146-157, ago. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10664*: Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico. Rio de Janeiro: Abnt, 1989. 7 p.

AZEVEDO, Afonso R.g. de et al. Characterizing the paper industry sludge for environmentally-safe disposal. *Waste Management*, [s.l.], v. 95, p.43-52, jul. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.001.

AZEVEDO, Afonso R.g. de et al. Recycling paper industry effluent sludge for use in mortars: A sustainability perspective. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 192, p.335-346, ago. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.011.

BORZOOEI, Sina et al. Optimization of the wastewater treatment plant: From energy saving to environmental impact mitigation. *Science of the Total Environment*, [s.l.], v. 691, p.1182-1189, nov. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.241.

BRASIL. Jose M. de Moura. Consultor (Org.). *ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SEGMENTOS INDUSTRIAIS SELECIONADOS - SEGMENTO CELULOSE E PAPEL*. Brasília: Qualitec-applus, 2018. 106 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/105176754/PRODUTO+4_Vpublicacao.pdf/f48424df-30ef-464e-ac90-e30d97f41936>. Acesso em: 19 abr. 2019.

BRITO, Juliana Ferreira de et al. Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação. *Química Nova*, [s.l.], v. 35, n. 4, p.728-732, 2012. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012000400014.

BUKHARI, Alaadin A. Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 99, n. 5, p.914-921, mar. 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.015.

CAMCIOGLU, Sule; OZYURT, Baran; HAPOGLU, Hale. Effect of process control on optimization of pulp and paper mill wastewater treatment by electrocoagulation. *Process Safety And Environmental Protection*, [s.l.], v. 111, p.300-319, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.07.014.

CHEN, Guohua. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, [s.l.], v. 38, n. 1, p.11-41, jul. 2004. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006.

CHEN, Wen-jang; SU, Wen-ta; HSU, Hsiu-ying. Continuous flow electrocoagulation for MSG wastewater treatment using polymer coagulants via mixture-process design and response-surface methods. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, [s.l.], v. 43, n. 2, p.246-255, mar. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2011.10.003.

ELAZZOUZI, M.; HABOUBI, K.; ELYOUBI, M.s.. Enhancement of electrocoagulation-flotation process for urban wastewater treatment using Al and Fe electrodes: techno-economic study. *Materials Today: Proceedings*, [s.l.], v. 13, p.549-555, 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.012

GOMES, Andrew J.g. et al. Electrochemical remediation of chicken processing plant wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, [s.l.], v. 6, n. 5, p.6028-6036, out. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.039.

GÖNDER, Z. Beril et al. Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization. *Journal Of Environmental Management*, [s.l.], v. 200, p.380-390, set. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.005.

HARIF, Tali; KHAI, Moti; ADIN, Avner. Electrocoagulation versus chemical coagulation: Coagulation/flocculation mechanisms and resulting floc characteristics. *Water Research*, [s.l.], v. 46, n. 10, p.3177-3188, jun. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.034.

HEAVEN, Michael W. et al. Physicochemical properties and trace organic compounds in a dairy processor's aerobic bioreactor. *Bioresource Technology*, [s.l.], v. 124, p.119-128, nov. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.005

IOANNOU, L.a.; PUMA, G. Li; FATTA-KASSINOS, D.. Treatment of winery wastewater by physicochemical, biological and advanced processes: A review. *Journal Of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 286, p.343-368, abr. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.043.

JAAFARZADEH, Nemat; OMIDINASAB, Maryam; GHANBARI, Farshid. Combined electrocoagulation and UV-based sulfate radical oxidation processes for treatment of pulp and paper wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, [s.l.], v. 102, p.462-472, jul. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.04.019.

JAMIESON, Bryan Lee; GAGNON, Graham A.; GONÇALVES, Alex Augusto. Physicochemical characterization of Atlantic Canadian seafood processing plant effluent. *Marine Pollution Bulletin*, [s.l.], v. 116, n. 1-2, p.137-142, mar. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.071.

KAMALI, Mohammadreza et al. Additive and additive-free treatment technologies for pulp and paper mill effluents: Advances, challenges and opportunities. *Water Resources and Industry*, [s.l.], v. 21, p.100-109, jun. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2019.100109.

KAMALI, Mohammadreza; KHODAPARAST, Zahra. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, [s.l.], v. 114, p.326-342, abr. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.005.

KATAL, Reza; PAHLAVANZADEH, Hassan. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater. *Desalination*, [s.l.], v. 265, n. 1-3, p.199-205, jan. 2011. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.052.

KEMIA tratamentos de efluentes. Disponível em: http://www.kemia.com.br/tecnologias-pt/eletrocoagulacao-e-eletrofloculacao

MANSOUR, L. Ben; KSENTINI, I.; ELLEUCH, B. Treatment of wastewaters of paper industry by coagulation–electroflotation. *Desalination*, [s.l.], v. 208, n. 1-3, p.34-41, abr. 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.04.072.

MAZHAR, Sadat et al. Sequential treatment of paper and pulp industrial wastewater: Prediction of water quality parameters by Mamdani Fuzzy Logic model and phytotoxicity assessment. *Chemosphere*, [s.l.], v. 227, p.256-268, jul. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.022.

MELCHIORS, Marina S. et al. Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and solid whey recovery. *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 182, p.574-580, nov. 2016. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.022

MORENO-CASILLAS, Hector A. et al. Electrocoagulation mechanism for COD removal. *Separation and Purification Technology*, [s.l.], v. 56, n. 2, p.204-211, ago. 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2007.01.031.

*NBR 15483*: Aparas de papel e papelão ondulado – Classificação, Rio de Janeiro, 2009.

NGUYEN, D. Duc et al. Can electrocoagulation process be an appropriate technology for phosphorus removal from municipal wastewater? *Science of the Total Environment*, [s.l.], v. 563-564, p.549-556, set. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.045.

OMWENE, P.i.; KOBYA, M. Treatment of domestic wastewater phosphate by electrocoagulation using Fe and Al electrodes: A comparative study. *Process Safety and Environmental Protection*, [s.l.], v. 116, p.34-51, maio 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2018.01.005.

PELISSER, Crivian; MELLO, Josiane Maria Muneron de; FIORI, Márcio Antônio. *Obtenção de Alita e Belita a partir do resíduo de uma indústria de reciclagem de papel.* Dissertação (mestrado em ciências ambientais) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2018 Disponível em: http://konrad.unochapeco.edu.br:8080/pergamumweb/vinculos/0000ff/0000ffb4.pdf.

PRIYA, M.; JEYANTHI, J. Removal of COD, oil and grease from automobile wash water effluent using electrocoagulation technique. *Microchemical Journal*, [s.l.], v. 150, p.70-75, nov. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2019.104070.

REILLY, Matthew et al. Electrocoagulation treatment of dairy processing and slaughterhouse wastewaters. *Energy Procedia*, [s.l.], v. 161, p.343-351, mar. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.106

ROBERT, N. T. F. *Produção de Embalagem de Papel*. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro, 2007.

RUTKOWSKI, Jacqueline; RUTKOWSKI, Emília. Recycling in Brasil: Paper and Plastic Supply Chain. *Resources*, [s.l.], v. 6, n. 3, p.43-58, 29 ago. 2017. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/resources6030043.

SANYAL, Oishi et al. Development of polyelectrolyte multilayer membranes to reduce the COD level of electrocoagulation treated high-strength wastewater. *Journal of Membrane Science*, [s.l.], v. 496, p.259-266, dez. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2015.09.011.

SASSON, Moshe Ben; CALMANO, Wolfgang; ADIN, Avner. Iron-oxidation processes in an electroflocculation (electrocoagulation) cell. *Journal of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 171, n. 1-3, p.704-709, nov. 2009. Elsevier BV.https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.057

SENAI Departamento Regional do Paraná*; Fabricação de celulose:* volume 1. Curitiba: SENAI/PR DR, 2006.

ŞENGIL, İ. Ayhan; ÖZACAR, Mahmut. Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 137, n. 2, p.1197-1205, 21 set. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.009.

TOCZYŁOWSKA-MAMIńSKA, Renata. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 78, p.764-772, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.021.

TRAN, T. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23nd edition. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23nd Edition, 1545.

UğURLU, M. et al. The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation. *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 87, n. 3, p.420-428, maio 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.007.

VASHI, Harsh; IORHEMEN, Oliver Terna; TAY, Joo Hwa. Aerobic granulation: A recent development on the biological treatment of pulp and paper wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, [s.l.], v. 9, p.265-274, fev. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2017.12.006.

VERMA, Akshaya Kumar. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation employing Fe-Al composite electrode. *Journal of Water Process Engineering*, [s.l.], v. 20, p.168-172, dez. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.11.001.

YILMAZ, A. Erdem et al. The investigation of parameters affecting boron removal by electrocoagulation method. *Journal of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 125, n. 1-3, p.160-165, out. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.020.

ZAIED, M.; BELLAKHAL, N. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry. *Journal of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 163, n. 2-3, p.995-1000, abr. 2009. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.115.

ZHU, Bintuan; CLIFFORD, Dennis A.; CHELLAM, Shankararaman. Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation pretreatment for enhanced virus removal using microfiltration membranes. *Water Research*, [s.l.], v. 39, n. 13, p.3098-3108, ago. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.020.

ZODI, Salim et al. Electrocoagulation as a tertiary treatment for paper mill wastewater: Removal of non-biodegradable organic pollution and arsenic. *Separation and Purification Technology*, [s.l.], v. 81, n. 1, p.62-68, set. 2011. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2011.07.002.

5520 OIL AND GREASE (2017) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.107

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ALTERNATING CURRENT IN ELECTROCOAGULATION OF DAIRY EFFLUENTS: A COMPARATIVE STUDY

**Juliano Varella D'Avila**
**Viviane Simon**
**Marcelo Hemkemeier**
Universidade de Passo Fundo, BR-285, São José, Passo Fundo-RS, CEP 99052-900
177611@upf.br, 105305@upf.br, marceloh@upf.br

***Abstract**: Electrocoagulation is a promising method in the treatment of industrial effluents, whose improvement may enable future environmentally sustainable systems, highlighting the possibility of treated water reuse in manufacturing processes. In this scenario, milk processing uses large volumes of water and generates effluents with high concentrations of COD, nitrogen and phosphorus. Electrocoagulation emerges as an alternative to conventional treatments (physicochemical and biological) that use high amounts of chemicals and require large areas for implantation. Among the limitations of EC, we highlight the passivation effects caused by direct current. Alternating current meets this limitation by reducing such effects, thus becoming the object of this study. The efficiency of the electrocoagulation process was obtained by applying the different types of direct and alternating current in an aluminum electrode pilot reactor. The direct current obtained higher COD removal (87.04%) compared to the alternating current (44.44%), but there was a considerable increase in temperature. The alternating current helped to reduce the passivation effects, however, the energy consumption was very close to the direct current (0.2 KWh and 0.25 KWh, respectively).*

***Keywords**: Current, Alternating, Electrocoagulation, Dairy.*

## 1. INTRODUCTION

With population growth there is a high demand for water resources and energy, so water scarcity is one of the biggest challenges facing humanity today (Moussa, *et al*., 2017). Wastewater disposal significantly interferes with the quality of water resources, causing environmental and health impacts, requiring appropriate treatment (Bassala, *et al*., 2017).

The dairy industry generates large amounts of effluents, conventionally treated using physicochemical or biological methods, in order to reduce the amount of sludge generated. Both treatments have disadvantages compared to alternative treatments such as electrocoagulation. Physicochemical processes have low chemical oxygen demand (COD) removal efficiency and can generate toxic byproducts, and biological treatments have high COD removal, but are not efficient for phosphorus and nitrogen removal (Tchamango, *et al*., 2010; Balannec, *et al*., 2005; Chimenos, *et al*., 2006; Irdemez, *et al*., 2006a; Golder, *et al*., 2006). In this sense, electrocoagulation (EC) is an efficient and promising treatment method because it can be used for different types of effluents allowing its reuse within industrial processes, becoming an economically and environmentally sustainable alternative (Garcia-Segura, *et al*., 2017a). In addition, electrocoagulation has advantages because no chemicals are used for treatment, generates smaller amounts of waste, does not require large areas for implementation and has low investment cost. However, in the electrocoagulation process, there is high energy consumption, being the biggest obstacle when related to the large volume to be treated (Kobya, *et al*., 2016).

Yavuz, *et al*., 2010, defines electrocoagulation as a process of creating metal hydroxides in effluents by electrodissolution of soluble anodes, usually produced from iron or aluminum. Electrocoagulation causes the dissolution of the metal anode to be sacrificed and the ion flux of this anode acts as a coagulation agent for the binding of contaminants. Once in solution, aluminum ($Al^{3+}$) and iron ($Fe^{2+}$) ions react with $OH^-$ groups to form hydroxides that bind contaminants by electrostatic complexation or attraction (Reilly, *et al*., 2018). The formation of metallic hydroxides favors flake formation by destabilizing the contaminant or suspended particles, which can be separated from the liquid by sedimentation or flotation, depending on their density (Bensadok, *et al*., 2007).

Faraday's law for electrolysis states that for electrocoagulation reactions the coagulant generation at the anode is proportional to the total electric charges circulating through it, that is, the current density (An, *et al*., 2016). In addition, the efficiency of anode and cathode ion production increases as current density increases, increasing flake production in the solution (Demirbas and Kobya, 2017). These loads are supplied by the continuous power sources. In the process of EC with the application of direct current there is oxide layer formation in the cathode and corrosion of the anode inhibiting

the effective transport of current between the electrodes and also reducing the treatment efficiency (Ghanizadeh, *et al*., 2016; Moussa, *et al*., 2017).

DC is usually used to produce electrical current through the electrodes. In this condition, a waterproof oxide layer can form on the cathode, in addition to the corrosion of the anodes, inhibiting the effective transport of current between the electrodes, reducing process efficiency. By utilizing current flow in one direction only, the electrode life is significantly reduced by passivity effects. This effect can be minimized by using alternating current (AC), where the cathode and anode can be changed periodically, reducing cathode passivation and anode deterioration, which gives longer electrode life (Karamati-Niaragh, *et al*., 2019; Garcia-Segura, *et al*., 2017b).

It is important to note that alternating current, in addition to providing longer life to the electrodes, provides greater energy savings during the electrolytic process (Kamaraj, *et al.*, 2013).

Considering the relevance of EC as a promising method for the treatment of industrial effluents, it is important to improve this technology in search of solutions to its main difficulties, including passivation films and energy consumption, whose suggested solution would be the use of alternating current. In this sense, the aim of this study is to compare the application of direct and alternating current in an electrocoagulation process to remove organic charge from a synthetic dairy effluent.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Experimental Settings

The EC process was performed in batch with the specifications shown in Fig. 1. The source (1) is simply the 220V, 60Hz power outlet, which naturally requires the use of devices for the proper electrical protections (3) to prevent against electric shock, overcurrent and short circuit. As for the rectifier (5), it will only be used in the case of the supply of electrodes with direct voltage, and naturally this rectifier will not be connected for the experiment of alternating voltage, so in this case the copper cables of 1.5 mm² (4) will be connected directly to the protection (3) by eliminating the rectifier (5). The EC reactor (6) consists of 4mm thick transparent acrylic plates, facilitating the visualization of the reaction in the effluent, besides having a lateral compartment (11) for the removal of the supernatant sludge (7). The effluent used (8) is synthetic and typical of the dairy industry. The electrode pair (10) used is 1mm thick aluminum, each with a surface area of 64cm² (8 X 8 cm), with a 10mm spacing.

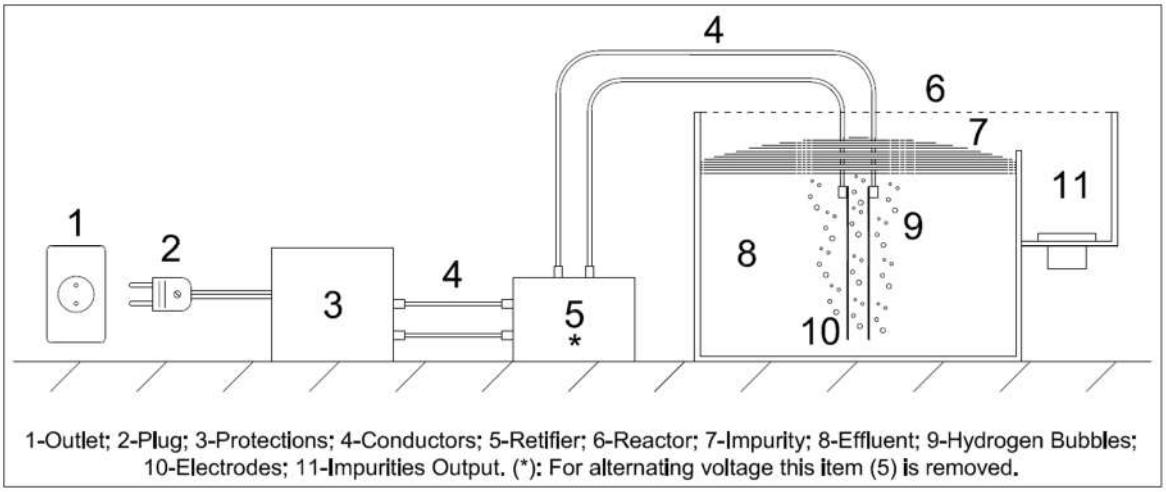



Figure 1. Assembly of experiments

The same alternating source was used for both experiments (DC and AC), but when it was necessary to make it continuous, a conventional full-wave rectifier (with four diodes) was added to the original circuit, keeping the pulsating current in one direction only and thus even the generating potential differences of the respective currents were kept identical, leaving as the only variable only the variation or not of the polarity of the generating voltage (or waveform).

Table 1 presents the experimental design, showing the parameters kept fixed in the experiments for the three effluent types: the raw or reference effluent (E1), the alternated voltage treated effluent (E2) and the continuous voltage treated effluent (E3). It also explains the variable to be analyzed for electrocoagulation in both cases (E2 and E3): the waveform applied to the electrodes. This eliminates the remaining variables, focusing only on the type of resultant current, thus facilitating the comparative analysis of the results.

Table 1. Experimental Design of Electrocoagulation Testing

| Test | Average Tension Input (V) | Average Current Input (A) | Test time (min) | Initial temperature (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| E1(1) | - | - | - | 25 |
| E2(1) | 225 | 3,25 | 16 | 25 |
| E3(1) | 231 | 4,00 | 16 | 25 |

(1) E1: crude effluent; E2: Alternating current electrocoagulation; E3: Electrocoagulation with direct current (pulsed).

The experiment compared the results of these different waveforms applied to the reactor maintaining the same resulting effective voltage level, performing EC on the same organic effluent typical of the dairy industry, always excited by the same pair of aluminum electrodes during the same time interval. The comparative parameter used to evaluate process efficiency was the measurement of chemical oxygen demand (COD) of both experiments.

### 2.2 Alternating current

The electrical circuit topology for alternating current and measuring elements are shown in Fig. 2, in which we observe that the protection consists of two elements associated in series, D1 being a residual differential switch and D2 a thermomagnetic circuit breaker, the first serving exclusively for protection against electric shock, and the second prevents any overcurrent or short circuit damage. The use of this equipment is solely for the safety of the researcher and their influence on the experiments is null for the current levels and operating voltages presented. The presentation of these equipment was made to explain the limitation of the electric current of the circuit. As previously known, the equivalent resistance of this organic effluent for this same electrode configuration is on the average value of 60Ω, for the proposed voltage level this is the only quantity capable of limiting the resulting current within the capacity of the electrical installation.

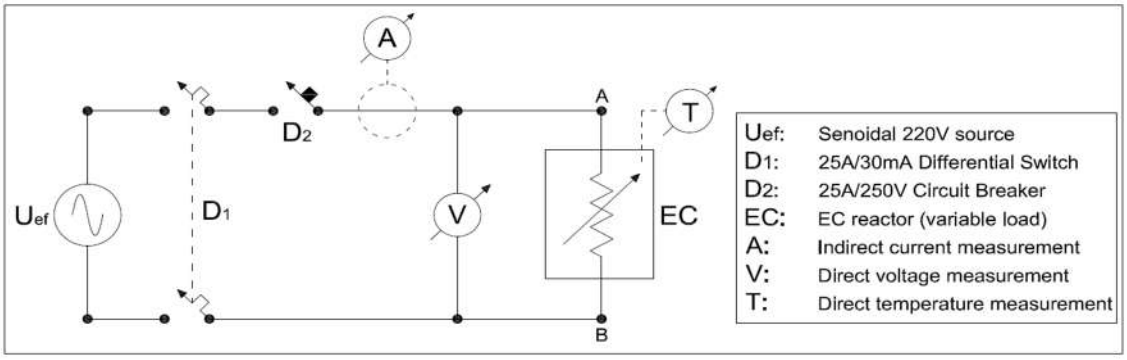



Figure 2. Circuit topology for alternating current (E2) test

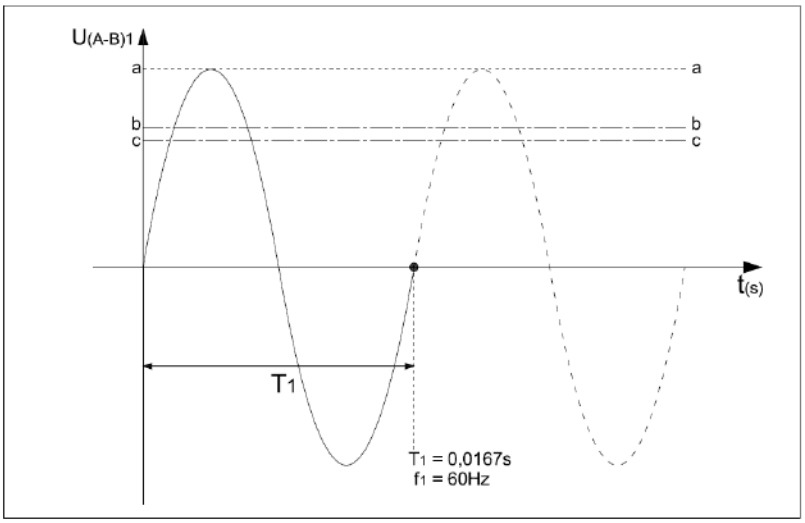



Figure 3. EC reactor voltage between terminals A-B (Fig. 2)

Figure 3 shows the graph of the sinusoidal potential difference U(A-B)1 in the reactor electrode terminals for alternating current testing with the circuit of Fig. 2. Where the value 'a' is the module of phase voltage or peak voltage (Upk), the value 'b' is the effective voltage (Uef) and the value 'c' is the average voltage (Umd). Where these reference stresses are calculated from Eq. (1) and (2):

$$Uef = Upk / \sqrt{2} \quad (1)$$

$$Umd = 2Upk / \pi \quad (2)$$

**2.3 Direct current**

The topology of the direct current electric circuit and the measuring elements are shown in Fig. 4, the only distinction regarding the alternating current circuit is the presence of the full wave rectifier.

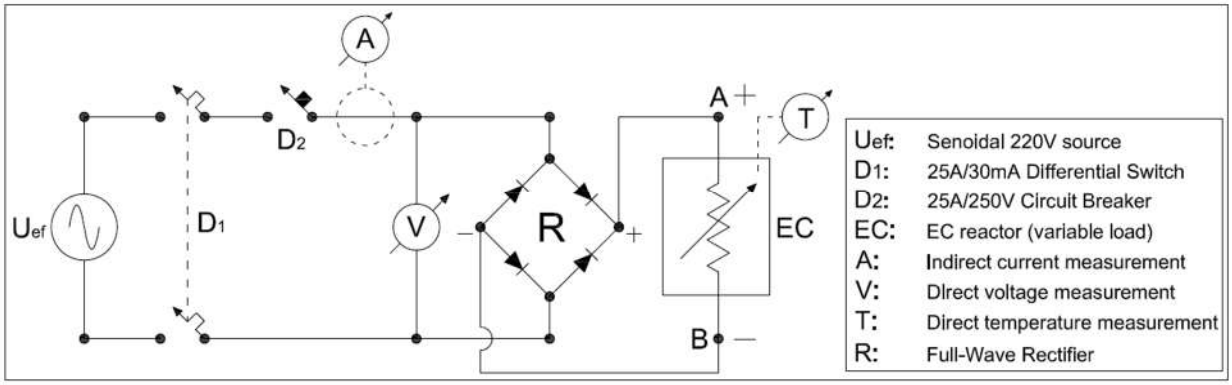



Figure 4. Topology of direct current test circuit (E3)

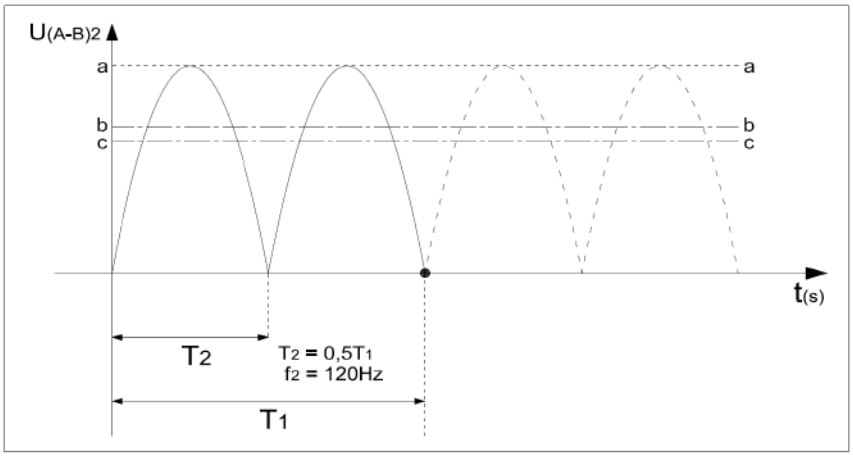



Figure 5. EC reactor voltage between terminals A-B (Fig. 4)

Figure 5 is a graph of the sinusoidal potential difference U(A-B)2 in the reactor electrode terminals for direct current testing with the circuit of Fig. 4. The use of pulsating continuous voltage is clear when we observe that equations (1) and (2) also apply perfectly to the voltages 'b' and 'c' of the graph in Fig. 5. Therefore, no matter the peak value 'a' or even any frequencies, for example: whether U(A-B) equals 110V, 50Hz or 220V, 60Hz, we will have the respective effective and average voltages respectively equal to 110Vdc (pulsed at 100Hz) and 220Vdc (pulsed at 120Hz).

**2.3 COD Removal Efficiency**

Standard Methodology of the Water and Effluent Analysis Manual (APHA, 1998). The percentage of COD removal from the effluent was evaluated using Eq. 3. Where Ci is the initial concentration value and Cf the final concentration value.

$$(\%) = (Ci - Cf) / Ci) * 100 \quad (3)$$

### 2.4 Inserted coagulant mass to the medium

Using Faraday's Laws (Eq. 4), the aluminum mass inserted in the medium was calculated during the 16 min test. Where i is the electric current (A), t is the test time (s), E is the equivalent gamma mass and F is the Faraday constant.

$$m = (i*t*E)/F \quad (4)$$

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 6 shows the results of the COD concentration measurement and the respective percentage removals after the 16 min test. Considering the initial concentration of COD in E1 (4,994.18 mg / L), it was observed that the largest removal occurred in E3 using CC (87.04%) with residual COD of 647.39 mg / L. In the E2 trial, using CA, there was removal of 44.44% (2,774.54 mg / L), significantly lower compared to E3. Both tests showed substantial formation of supernatant sludge, which means that most of the organic filler is present as solids. Rodrigues, et al., 2015, performed comparative analyzes of COD removal of petroleum derivatives using CC and CA and obtained similar results to this study for CC (95%), but for CA, the removal results were significantly higher. (93%). This difference in results can be explained by the fact that the author used sodium chloride solution (1.5 g / L), different from this study. Sodium chloride enables high mobility of sodium ions and prevents unwanted passivation of chloride ions, improving treatment efficiency. Already Tchamango, *et al*., 2010, obtained a COD removal of 61% in study using aluminum electrodes for the same type of dairy effluent, but with lower current (DC) values (0.2 A). Chen, *et al*., 2000, attribute the low EC yield (using the same CC values) to the large amount of dissolved carbohydrates and organic compounds, making it impossible to remove them through the applied current. These values were attributed to current density, and higher values resulted in greater removal of organic load.

The average current density for the E2 test was 507.81 A / m², while in E3 it was 625 A / m², where the highest current density was responsible for the highest percentage of COD removal. According to Priya, *et al*., 2019, the increase in current density increases the formation of hydroxide flakes and enhances the results of coagulation and removal. However, after a certain current density value, cathode passivation occurs and dissolution of the anode material also reduces the efficiency of flake treatment and formation. Importantly, in both experiments, with increasing current density, there was also a significant increase in treated effluent temperature from 25 ° C to 40 ° C in E2 (CA) and to 60 ° C in E3 (CC). . This effect is attributed to the electrolysis process, which is characterized by being non-spontaneous and exothermic. As the tests were performed in batch, it is possible that in continuous feeding process the temperature does not reach such high values.

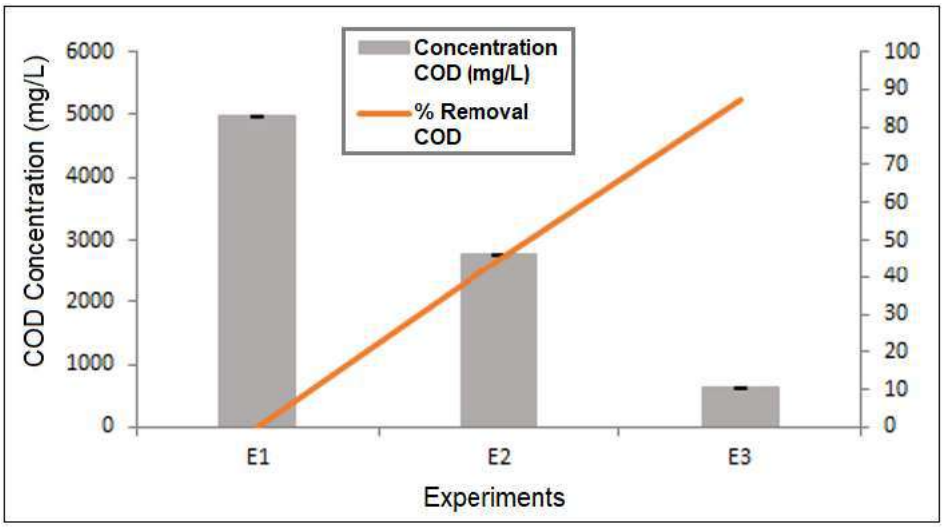



Figure 6. Effluent COD concentration and respective removal percentages after EC.

During the EC process anode corrosion occurs, inserting coagulant in the medium. During the 16 min test, aluminum was inserted and the coagulant value inserted in the medium was 0.17 g / L in E2 and 0.21 g / L in E3. Comparing the coagulant masses inserted into the reactor, regardless of using CC or AC, the introduction of coagulant in E3, although larger, was very close to E2. According to Eyvaz, *et al*., 2009, even with slight changes in electrode consumption, when using DC there is considerable variation in energy consumption. AC uses less energy to enter values very close to coagulant during treatment.

The present study used high current values of 3.25 A (E2) and 4.00 A (E3), and the best results were obtained in E3. Nasrullah, *et al*., 2019, performed EC with DC using high current intensity to treat palm oil mill effluent (POME) obtaining greater removal efficiency (85%) after 50 min of treatment. Higher current application results in greater removal

of organic compounds, while gas bubbles also assisted in the removal of polluting particles by flotation. Xin, *et al*., 2018, used AC to through EC electrodes for compound oxidation, and increasing the current from 5 to 50 mA increased O2 and Iron production, providing greater contaminant removal. However, unlike this study, the pH adjustment was made to ensure higher gas production and avoid passivation effects, increasing the process efficiency.

The average total energy consumed in this study was 702 kJ (0.2 kWh) in E2 and 887 kJ (0.25 kWh) in E3. It was observed that the energy consumption was very close for both experiments, even with the use of AC, which presents the reduction of energy consumption due to the reduction of passivation. Vasudevan, *et al*., 2011, when comparing CC and AC in EC, obtained removal of the contaminant in 96.2% and 97.5%, with energy consumption of 0.454 kWh and 1.0002 kWh, respectively, however, it should be noted. different from this study, pH adjustments and electrolyte solution insertion were made, increasing the effluent conductivity and, consequently, improving the treatment.

Keshmirizadeh, *et al*., 2011, used alternating current to reduce electrocoagulation passivation effects for chromium removal. In relation to WC, AC showed a reduction in anode passivation effects, as it eliminates uneven electrode wear. Normally, the anode material dissolves and electrodeduction products adhere to the cathodes when DC is used. In addition, the author observed greater sludge formation, with effluent clarification that becomes viable for reuse as treated effluent.

## 4. CONCLUSIONS

Electrocoagulation using direct current obtained the best results for COD removal (87.04%), but there was a considerable temperature increase (60 ºC). When using alternating current, COD removal was lower (44.44%), but it avoided electrode passivation effects and also had lower heating (40 ºC). The higher current density at E3 (625 A / m²) was responsible for the highest COD removal, and it was the experiment with the highest energy consumption (0.25 KWh).

Comparing CC and AC, in this study, the current density and energy consumption did not present significant differences, but the CC was more efficient in the effluent clarification.

For future studies, the use of alternating current to avoid passivation effects is suggested, coupled with the reduction of current density by increasing the electrode area and also pH adjustments to improve effluent coagulation during electrocoagulation.

## 5. BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

**Trindade, M.A. and Benjeddou, A., 2011a. "Finite element homogenization technique for the characterization of d15 shear piezoelectric macro-fibre composites". *Smart Materials and Structures*, Vol. 20, p. 075012.**

APHA, A. Standard methods for the examination of water and wastewater, 2000.

Balannec, B., Vourch, M., Rabiller-Baudry, M., & Chaufer, B., 2005. "Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration". *Separation and Purification Technology*, Vol. 42, p. 195-200.

Bensadok, K., Belkacem, M., Nezzal, G., 2007. "Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation". *Desalination*, Vol. 206, p. 440-448.

Chen X, Chen G, Yue PL., 2000. "Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation". *Separation and Purification Technology*, Vol. 19, p. 65–76.

Chimenos, J. M., Fernandez, A. I., Hernandez, A., Haurie, L., Espiell, F., Ayora, C., 2006. "Optimization of phosphate removal in anodizing aluminium wastewater". *Water research*, Vol. 40, p. 137-143.

Demirbas, E. and Kobya, M., 2017. "Operating cost and treatment of metalworking fluid wastewater by chemical coagulation and electrocoagulation processes". *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 105, p. 79-90.

Devlin, T. R., Kowalski, M. S., Pagaduan, E., Zhang, X., Wei, V., Oleszkiewicz, J. A., 2019. "Electrocoagulation of wastewater using aluminum, iron, and magnesium electrodes". *Journal of hazardous materials*, Vol. 368, p. 862-868.

Eyvaz, M., Kirlaroglu, M., Aktas, T. S., Yuksel, E., 2009. "The effects of alternating current electrocoagulation on dye removal from aqueous solutions". *Chemical Engineering Journal,* Vol. 153*,* p. 16–22.

Garcia-Segura, S. and Brillas, E., 2017. "Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters". *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Vol. 31, p. 1-35.

Garcia-Segura, S., Eiband, Maria M. S. G., de Melo, J. V., Martínez-Huitle, C. A., 2017. "Eletrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: a general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies". *Journal of electroanalytical Chemistry*, Vol. 801, p. 267-299

Ghanizadeh, G., Shariati neghab, G., Salem, M., Khalagi, K., 2016. "Taguchi experimental design for electrocoagulation process using alternating and direct current on fluoride removal from water". *Desalination Water Treatment*, Vol. 57, p. 12675–12683.

Golder, A. K., Samanta, A. N., Ray, S., 2006. "Removal of phosphate from aqueous solutions using calcined metal hydroxides sludge waste generated from electrocoagulation". *Separation and purification technology*, Vol. 52, p. 102-109.

İrdemez, Ş., Demircioğlu, N., Yıldız, Y. Ş., Bingül, Z., 2006. "The effects of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation using aluminum and iron plate electrodes". *Separation and Purification Technology*, Vol. 52, p. 218-223.

Kamaraj, R., Ganesan, P., Lakshmi, J., Vasudevan, S., 2013. "Removal of copper from water by electrocoagulation process-effect of alternating current (AC) and direct current (DC)". *Environmental Science and Pollution Research* Vol. 20, p. 399–412.

Karamati-Niaragh, E., Moghaddam, M. R. A., Emamjomeh, M. M., Nazlabadi, E., 2019. "Evaluation of direct and alternating current on nitrate removal using a continuous electrocoagulation process: Economical and environmental approaches through RSM". *Journal of environmental management*, Vol. 230, p. 245-254.

Keshmirizadeh, E., Yousefi, S., Rofouei, M. K., 2011. "An investigation on the new operational parameter effective in Cr (VI) removal efficiency: A study on electrocoagulation by alternating pulse current". *Journal of Hazardous Materials,* Vol. 190, p. 119–124.

Kobya, M., Gengec, E., Demirbas, E., 2016. "Operating parameters and costs assessments of a real dyehouse wastewater effluent treated by a continuous electrocoagulation process". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol. 101, p. 87-100.

Moussa, D.T., El-Naas, M.H., Nasser, M., Al-Marri, M.J., 2017. "A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: potentials and challenges". *Journal of environmental management,* Vol. 186, p. 24–41.

Nasrullah, M., Zularisam, A. W., Krishnan, S., Sakinah, M., Singh, L., Fen, Y. W., 2019. "High performance electrocoagulation process in treating palm oil mill effluent using high current intensity application". *Chinese journal of chemical engineering*, Vol. 27, p. 208-217.

Pi, K.-W., Xiao, Q., Zhang, H.-Q., Xia, M., Gerson, A. R., 2014. "Decolorization of synthetic Methyl Orange wastewater by electrocoagulation with periodic reversal of electrodes and optimization by RSM". *Process Safety and Environmental Protection,* Vol. 92, p. 796–806.

Priya, M. and Jeyanthi, J., 2019. "Removal of cod, oil and grease from automobile wash water effluent using electrocoagulation technique". *Microchemical Journal,* Vol. 150, p. 104070.

Reilly, M., Cooley, A. P., Tito, D., Tassou, S. A., Theodorou, M. K., 2019. "Electrocoagulation treatment of dairy processing and slaughterhouse wastewaters". *Energy Procedia*, Vol. 161, p. 343-351.

Rodrigues Pires da Silva, J., Merçon, F., Firmino da Silva, L., Andrade Cerqueira, A., Braz Ximango, P.; da Costa Marques, M. R., 2015. "Evaluation of electrocoagulation as pre-treatment of oil emulsions, followed by reverse osmosis". *Journal of Water Process Engineering,* Vol. 8, p. 126–135.

Tchamango, S., Nanseu-Njiki, C. P., Ngameni, E., Hadjiev, D., Darchen, A., 2010. "Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes". *Science of the total environment*, Vol. 408, p. 947-952.

Vasudevan, S., Lakshmi, J., Sozhan, G., 2011. "Effects of alternating and direct current in electrocoagulation process on the removal of cadmium from water". *Journal of hazardous materials*, Vol. 192, p. 26-34.

Xin, S., Nin, C., Gong, Y., Ma, J., Bi, X., Jiang, B., 2018. "A full-wave rectified alternating current wireless electrocoagulation strategy for the oxidative remediation of As (III) in simulated anoxic groundwater". *Chemical Engineering Journal,* Vol. 351, p. 1047–1055.

Yavuz, Y.; Koparal, A. S.; Öğütveren, Ü B., 2010. "Treatment of petroleum refinery wastewater by electrochemical methods". *Desalination*, Vol. 258, p. 201-205.

## 6. STATEMENT OF RESPONSIBILITY

The authors are solely responsible for the content of this article.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# TÉCNICAS EMPREGADAS PARA REMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS

**Keli Vechiato Kempfer**
**Adonis Joel Gehlen**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Erechim – Campus II - RS-331
kelikempfer@hotmail.com, adonisgehlen@hotmail.com

***Resumo:*** *Sérios danos podem ser causados por vazamentos acidentais de hidrocarbonetos de petróleo. Em um derramamento e/ou vazamento de combustível, uma das principais preocupações é a contaminação do solo e dos aquíferos. Os contaminantes denominados de BTEX (Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno e os Xilenos) encontrados na gasolina, são prejudiciais à saúde humana, alguns até cancerígenos. Ao ocorrer contaminações, diversas são as medidas que podem ser empregadas para a recuperação do local contaminado. Atualmente, vêm sendo desenvolvidos métodos de remoção desses compostos por meio de remediação, com o objetivo de que o local contaminado retome sua condição original. A escolha de um método para remediação é algo bastante particular, que deve ser contemplado após vários estudos, pois o tipo de solo e de material contaminante influencia na escolha. O presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica para caracterizar contaminação de solos por hidrocarbonetos de petróleo, analisando a maneira como se comportam quando contaminam o solo, mostrando a sua dinâmica ao longo das diversas fases do solo e também quando atingem o lençol freático, além de apresentar as principais técnicas utilizadas para remediação.*

***Palavras chave:*** *Contaminação de solos. Remediação. Hidrocarbonetos*.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento atual das indústrias, fica-se cada vez mais dependente do petróleo e seus derivados. Nas últimas décadas, vem se intensificando as preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de solos e águas por vazamento ou derramamento de combustíveis.

Para Fonini e Rojas (2006) uma área contaminada é definida como um local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Já a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) define contaminação como "Introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em concentrações que possam afetar a saúde humana. É um caso particular de poluição. "

Um dos maiores problemas de poluição no solo está na contaminação por hidrocarbonetos que são gerados pelo descarte indevido, derrames acidentais e vazamentos dos contaminantes orgânicos, como petróleo e seus derivados, em atividades desenvolvidas em postos de combustíveis ou refinarias. Assim, resultando fontes persistentes de contaminantes, não só no solo, mas também em águas subterrâneas, se tornando um importante problema ambiental devido aos seus efeitos adversos na saúde humana e ecossistemas (PIRES *et al*. 2018).

O último relatório de áreas contaminadas do estado de São Paulo publicado pela CETESB, em 2018, referente aos dados de dezembro do mesmo ano, identificou 6.110 locais contaminados, em diferentes estágios, destas 6.110 áreas contaminadas, 4.384 referem-se a postos de combustíveis, ou seja 72% do total. Seguido das atividades industriais com 1.158 (19%), das atividades comerciais com 317 (5%), das instalações para destinação de resíduos com 197 (3%) e dos casos de acidentes, agricultura e fonte de contaminação de origem desconhecida com 54 (1%).

A contaminação dos corpos d'água por hidrocarbonetos pode representar um risco para os ecossistemas aquáticos e para a saúde humana. Os efeitos podem variar, dependendo do composto, mas alguns hidrocarbonetos são carcinogênicos e, portanto, podem aumentar o risco de desenvolvimento de câncer. Outros são tóxicos e podem causar diversos efeitos à saúde humana e aos organismos aquáticos (MARQUES; GUERRA, 2015)

Ao se identifica uma área contaminada, algumas medidas devem ser tomadas a fim de garantir integridade aos seres que nela habitam. São elas: retirada de seres humanos e animais ameaçados, isolamento da área, identificação e

posteriormente remoção da fonte contaminadora, avaliação do nível de contaminação, decisão da técnica a ser empregada e execução (FONINI; ROJAS 2006).

Segundo Heiderscheidt et al. (2016) devido à grande frequência do derramamento de petróleo, e seus derivados, tem-se desenvolvido novas técnicas que visam, principalmente, a descontaminação das áreas mais agredidas. Diante dos registros, diversas técnicas físicas, químicas e biológicas vêm sendo desenvolvidas para a remoção de petróleo, ou seus derivados, derramados em solos.

Há duas formas de tratamentos para solos contaminados, a primeira sendo o "ex situ", realizado fora do local onde ocorreu a contaminação, é um tratamento que requer a escavação e a remoção do solo contaminado e levado para outro local onde será realizada a descontaminação. Este procedimento resultará em um aumento considerável do custo para a realização do processo, porém, não seria uma desvantagem realizá-lo. O segundo tratamento, o "in situ", realiza o processo de descontaminação do solo no mesmo local onde ocorreu a contaminação, normalmente acarretando em menores impactos ambientais (NANO; BORRONI E ROTA 2003)

O presente trabalho tem por objetivo analisar a maneira como se comportam os hidrocarbonetos quando estes estão presentes no solo, mostrando a sua dinâmica ao logo das diversas fases do solo e também quando atingem o lençol freático. Além disso, far-se-á uma apresentação das principais técnicas de remediações empregadas para a descontaminação de locais que sofreram contaminação por hidrocarbonetos.

## 2. REVISÃO

### 2.1 Contaminação de solos por petróleo e seus derivados

O petróleo é uma mistura complexa de compostos orgânicos. Os hidrocarbonetos (compostos formados por carbono e hidrogênio) são os principais constituintes, mas outros aparecem sob a forma de compostos que contém outros elementos, sendo os mais comuns o nitrogênio, o enxofre e o oxigênio (MARQUES; GUERRA, 2015). Os compostos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno) são considerados, dos compostos da gasolina, os principais contaminantes de águas subterrâneas, uma vez que, devido a sua maior solubilidade e mobilidade em água, são os primeiros que atingem o lençol freático.

Na figura 1, apresenta-se as constatações de grupos de contaminantes no estado de São Paulo.

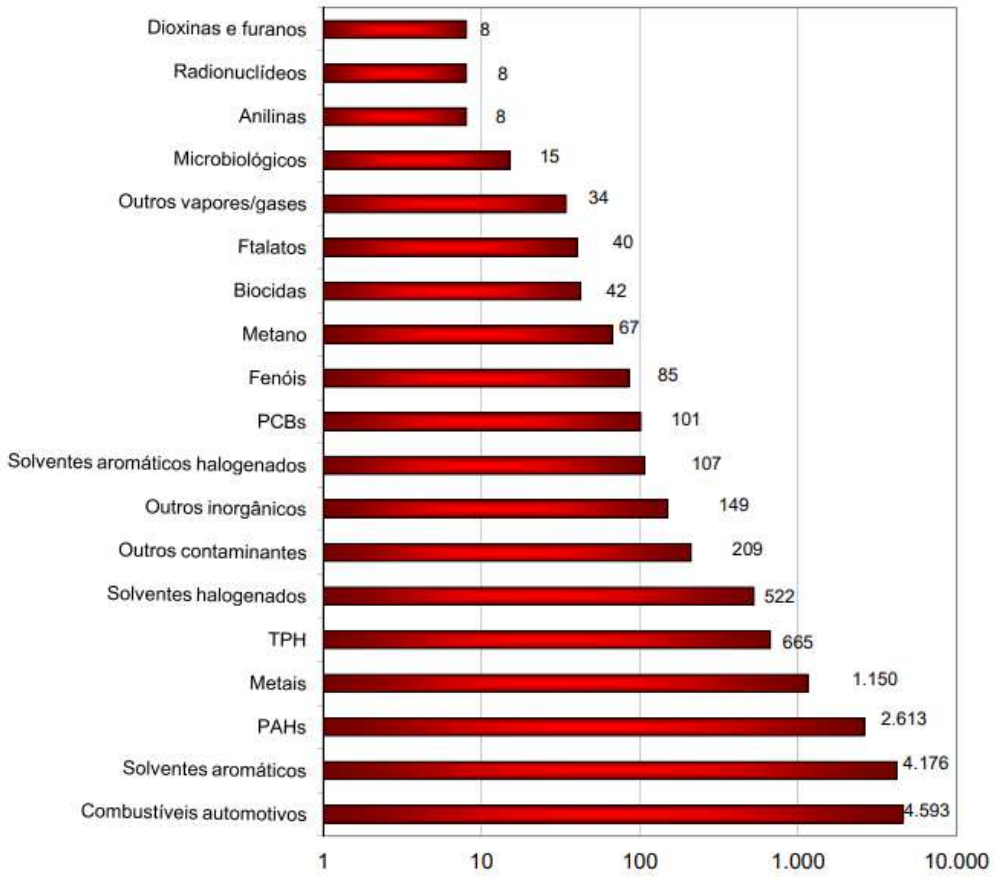



Figura 1. Constatações de grupos de contaminantes – Dezembro de 2018. Fonte: CETESB (2018)

Observa-se que os principais grupos de contaminantes encontrados nas áreas cadastradas refletem a influência da atividade de revenda de combustíveis, destacando-se: solventes aromáticos (basicamente representados pelo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), combustíveis automotivos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) e TPH. Em seguida destacam-se os metais e solventes halogenados.

Na ocorrência de uma contaminação do solo por algum derivado de petróleo, devido a sua pouca solubilidade em água, ocorre à formação de cinco fases no local contaminado, que são descritas por Fonini e Rojas (2006) da seguinte maneira:

*Fase livre*: depende do tipo de contaminante, de sua viscosidade, do volume de vazios existente no solo e da profundidade do lençol freático, essa fase pode ser mais ou menos espessa. Neste estado, o contaminante (hidrocarbonetos e metais, dentre outros) apresenta-se no solo em altas quantidades, com grande mobilidade e misturado com a água existente nos vazios do solo. É possível que ele seja removido por bombeamento, contudo, a sua remoção nunca será total.

*Fase residual*: esta fase, assim como a livre, acontece na zona não saturada do solo. Nela o contaminante encontra-se puro, porém, em pequenas gotículas isoladas que não possuem mobilidade.

*Fase de vapor:* em função do tipo de contaminante e de seus componentes, esta fase pode manifestar-se de forma mais ou menos intensa. Os componentes de fácil volatilização, como os hidrocarbonetos, representam grande perigo à saúde humana se inalados em altas quantidades por serem potencialmente carcinogênicos;

*Fase adsorvida:* podem gerar contaminação por um maior período, devido à lixiviação das partículas contaminadas. Corresponde às moléculas de produto que se aderem às partículas sólidas do solo, preferencialmente matéria orgânica e argilas, nessa ordem.

*Fase dissolvida*: é a fase responsável pela diluição do contaminante na água. Ela é dividida em três partes: advecção, que é movimentação do contaminante de um local para outro através do fluxo da água; difusão molecular, que é movimentação do contaminante através da movimentação das partículas do meio e ainda a difusão turbulenta, que é a movimentação do contaminante através do fluxo turbulento do meio.

A figura 2 demonstra as fases a cima descritas, onde a fonte de contaminação é pontual, mas suficiente para atingir o lençol freático.

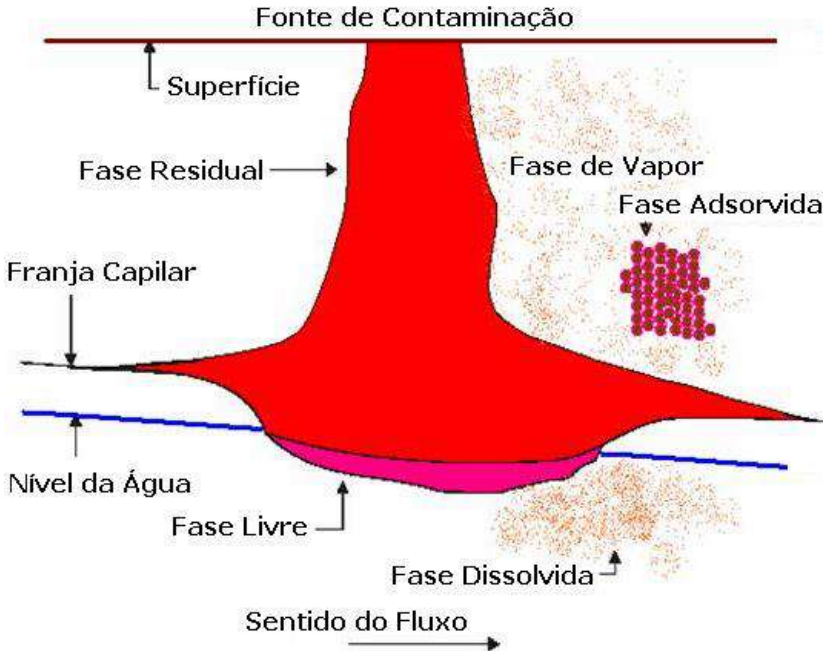



Figura 2. Fases de uma contaminação pontual em solos. Fonte: Fonini e Rojas (2006)

**2.2 Técnicas de remediação**

O objetivo desse tópico é introduzir as técnicas de remediações mais empregadas atualmente no tratamento de solos contaminados por petróleo e seus derivados. As técnicas descritas são: Biorremediação, Estabilização/Solidificação, Landfarming e Extração multifásica.

Dados obtidos no último relatório de áreas contaminadas do estado de São Paulo, nas áreas que se encontram em remediação e nas áreas, nas quais, a remediação foi finalizada, ou seja, em 3.645 áreas, pode-se constatar que a extração multifásica, o bombeamento e tratamento e a recuperação de fase livre foram as técnicas de remediação mais empregadas no tratamento das águas subterrâneas (zona saturada), enquanto que a remoção de solo/resíduo e a extração de vapores destacam-se como as técnicas mais utilizadas para os solos (zona não saturada) (CETES, 2018).

### 2.2.1 Biorremediação

A biorremediação vem sendo desenvolvida com objetivo de explorar a diversidade genética e a versatilidade metabólica microbiana para a transformação de contaminantes, em produtos menos tóxicos (TOMASSONI *et al*. 2014). É o método mais ecológico que há, pois se baseia na utilização de fungos, leveduras e bactérias no solo contaminado, de forma que estes promovam a digestão dos contaminantes (FONINI E ROJAS 2006).

A técnica consiste no uso de micro-organismos ou plantas que removem, promovem a contenção ou transformação dos poluentes. Se subdividido em: estimulação da atividade de micro-organismos para acelerar a degradação de compostos orgânicos; inoculação de micro-organismos com capacidade para biotransformação de ambientes contaminados; aplicação de enzimas imobilizantes para transformação ou degradação de poluentes; e fitorremediação que usa plantas acumuladoras para remover, conter ou tornar inofensivos contaminantes ambientais (MARQUES; GUERRA, 2015).

Para a aplicação desta técnica, é necessário observar condições ambientais, pH, temperatura, dentre outros, adequadas à atividade microbiana. Após a eliminação do poluente, os níveis de bactérias e fungos tendem a voltar ao normal gradativamente pela ausência de alimento a ser sintetizado (FONINI E ROJAS 2006).

A biorremediação pode ser aplicada em condições anaeróbicas ou aeróbicas. Na condição anaeróbica, a atividade biológica acontece na ausência de oxigênio, sendo assim, os micro-organismos decompõem os compostos orgânicos do solo para liberar a energia que necessitam. Este processo de degradação é muito mais lento que o aeróbico. Em condições aeróbicas, os micro-organismos se desenvolvem usando o oxigênio que, em quantidade suficiente, transforma grande quantidade de contaminantes em dióxido de carbono e água (BITTAR 2000).

### 2.2.2 Estabilização e Solidificação

A técnica de estabilização e solidificação é um estágio de pré-tratamento pelo qual os constituintes perigosos de um resíduo ou solo contaminado são transformados e mantidos em suas formas menos solúveis ou tóxicas. Sendo extensamente utilizada porque pode oferecer garantia de estabilização química de muitos contaminantes e produzir uma forma mecanicamente estável do resíduo (ROJAS, 2015).

Podendo ser aplicada in situ ou ex situ, o método utiliza como agente cimentante um aglomerante hidráulico, que na maioria das vezes é o cimento. Ele consegue fazer com que o movimento dos poluentes no solo seja retardado ou ainda não ocorra. Contudo, quando aplicada esta técnica deve-se levar em conta a sua vida útil, visto que ela não remove o poluente do solo, mas sim o isola (FONINI E ROJAS 2006).

Na técnica ocorre o encapsulamento do rejeito em um sólido monolítico de alta integridade estrutural. O encapsulamento pode ser de finas partículas de rejeito ou até de grandes blocos de contaminantes. A solidificação não necessariamente envolve a interação química entre o rejeito e os agentes solidificantes, mas pode mecanicamente tornar o rejeito monolítico (FONINI E ROJAS 2006).

Segundo a Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR, 2006), a técnica de encapsulamento apresenta como principal vantagem a transformação de um solo contaminado em um novo material com elevada resistência, o que possibilita seu emprego em obras de engenharia como base e sub-base de pavimentos rodoviários.

Apensar de possui grande potencial de uso na redução do poder de contaminação por hidrocarbonetos e metais pesados, ainda não possui tecnologia nacional capacitada para seu emprego correto. Isso deve-se basicamente devido à falta de consenso entre a comunidade geotécnica no que se refere a sua metodologia de aplicação. (KNOP, 2003).

### 2.2.3 Landfarming

O landfarming é o processo de biorremediação onde os resíduos contaminados são misturados na camada superficial do solo, em local previamente preparado. Esta tecnologia
visa a redução da concentração dos contaminantes no solo por ação de microrganismos através de operações adequadas de manejo e gestão do solo (SILVA, 2009).

Para que este processo apresente a eficiência requerida, faz-se necessário a adição de nutrientes, especialmente fósforo, nitrogênio e potássio, pois o aumento da concentração de carbono orgânico no solo aumenta a demanda de nutrientes pelos microrganismos. Além disso, podem ser feitas outras adequações no solo que incluem a adição de água para aumentar a umidade, e a adição de óxidos de cálcio e/ou magnésio para corrigir o pH. Em geral, ocorre maior degradação de hidrocarbonetos em solo de pH neutro, pois as bactérias são reconhecidas como principais agentes da biodegradação (SILVA, 2009).

Quando os resíduos são adicionados ao solo, acontecem os seguintes processos: degradação biológica, incorporação na matriz do solo, volatilização, percolação e lixiviação superficial. Além disso, muitos processos bioquímicos acontecem no "landfarming", resultando na conversão de carbono a dióxido de carbono. O carbono remanescente é incorporado à massa celular e fixado ao solo como matéria orgânica natural melhorando assim a sua estrutura e fertilização (JERÔNIMO; KITZINGER, 2014).

Para Cassini (2015), landfarming também deve ser considerado como um processo de disposição final, já que os produtos da degradação se incorporam ao solo e à matéria vegetal presente no local. A diferença entre tratamento em solo e landfarming se baseia em que o último implica o desenvolvimento de técnicas de trabalho do solo, através das quais é incorporado oxigênio do ar, maximizando a remoção biológica.

### 2.2.4 Extração Multifásica

O Sistema Extração Multifásica, conhecido como MPE (multi-phase extraction), é apontado como alternativa eficiente, segura e pouco onerosa para remoção de compostos tóxicos e enquadra-se como uma das mais utilizadas em postos revendedores combustíveis.

É uma tecnologia de remediação in situ, que combina as técnicas de bioventilação e de remoção de massa a vácuo, possibilitando a extração da fase livre, fase vapor, fase dissolvida, adsorvida na matriz do solo e estimulando o processo de biodegradação natural na zona insaturada. As fases, líquida e vapor, extraídas, são tratadas pela separação do contaminante da fase aquosa de forma que possa ocorrer a disposição ou re-injeção no solo, quando permitido pela legislação ambiental (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

Esse método apresenta boa adaptação a solos com permeabilidade intermediária (areia siltosa, silte arenoso e areia fina). Possui bom desempenho na remoção de produto retido na fase residual. A taxa de remoção de produto pode ser de 5 a 10 vezes mais elevada do que nos métodos tradicionais. Recupera simultaneamente fase livre, vapores, água subterrânea e ainda promove a bioventilação (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

## 3. DISCUSSÃO

Observa-se que a dinâmica dos hidrocarbonetos em superfície é extremamente complexa, isto porque este contaminante apresenta um caráter multifásico ao atingir o solo. Além do mais, é influenciado pelas propriedades físicas e químicas do meio, o que modifica a sua dinâmica ao longo do perfil de solo.

Perante as técnicas de remediação apresentadas e as suas devidas características, não se pode avaliar qual seja a melhor. A escolha de um determinado método é feito somente após determinar-se às características do solo, do tipo de contaminante, das condições climáticas do local, do tamanho da área contaminada, da disposição de recursos, entre outras. Portanto, ao deparar-se com uma situação em que o solo e/ou lençol freático está contaminado e foi diagnosticado que é necessário intervir para que se promova a recuperação, devem ser relacionadas todas as opções de métodos para a remediação condizentes com a situação, de forma que a intervenção seja coerente tecnologicamente e economicamente, mas ainda assim objetivando o melhor resultado possível no local.

## 4. CONCLUSÃO

Há dois fatores relevantes no sucesso da remediação, que são a experiência e qualificação de profissionais na realização do diagnóstico, de maneira que a escolha seja a melhor tecnologia de remediação para um determinado sítio contaminado. Assim, o conhecimento das atuais tecnologias de remediação, suas limitações, relações custo-benefício e aplicabilidade quanto às questões hidrogeológicas e de natureza dos contaminantes, são importantes no sucesso do programa de remediação (COUTINHO; GOMES, 2007).

Durante as ações de remediação, a área deve permanecer sob contínuo monitoramento, por período de tempo a ser definido pelo órgão de controle ambiental. Os resultados do monitoramento serão utilizados para verificar a eficiência da remediação, propiciando observar se os objetivos desta, estão sendo atingidos ou não.

Conhecendo-se os impactos dos hidrocarbonetos nos solos e as técnicas de remediação destes, nota-se que a prevenção continua sendo a melhor alternativa. É preciso que as empresas, acima de tudo, se preocupem com a questão ambiental e adotem planos de gestão que diminuam os efeitos de suas atividades sobre o meio.

## 5. REFERÊNCIAS

AMBIENTAL, Ag Solve Monitoramento. > **Perigo: Contaminação das águas subterrâneas por hidrocarbonetos.** Disponível em: <https://www.agsolve.com.br/noticias/perigo-contaminacao-das-aguas-subterraneas-por-hidrocarbonetos>. Acesso em: 14 maio 2019.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclétrica Química**, São Paulo, v. 3, n. 35, p.17-43, ago. 2010.

BITTAR, P. R. (2000). Biorremediação: uma técnica para reparar danos causados por vazamentos. Disponível em: http://www.crq4.org.br/informativo/16_01_00/pagina 06.html. Acesso em 28 mai. 2019

CASSINI, S. T. **Biorremediação áreas contaminadas.** Espirito Santo: Visual, 2015. 73 slides, color. Disponível em: <http://abes-es.org.br/drupalBU/sites/default/files/arquivos/modulo_06_-_tecnologias_-_biorremediacao.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

CAMPOS, A. K. R.; GALLINA, F.; MELLO, M. R. Remediação por extração multifásica de solo e água subterrânea contaminados com hidrocarbonetos de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIêNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Abes, 2013. p. 56 - 60.

CETESB. **Relatório de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2019/04/Texto-explicativo_dez-2018.pdf>. Acesso em: 19 maio 2019.

COUTINHO, R. C. P.; GOMES, C. C. Técnicas para remediação de aquíferos contaminados por vazamentos de derivados de petróleo em postos de combustíveis. In: VXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICO, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Hbrh, 2007. p. 59 - 78.

FONINI, A.; ROJAS, J. W. J. **Técnicas Empregadas na Remediação de Solos Contaminados.**2006. 89 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/IIgeojovem2006/2006-fonini-rojas.pdf>. Acesso em: 14 maio 2019.

GREGORCZYK, G.; PICCIONI, W. J. **Análise de eficiência da remediação por sistema extração multifásica em postos de combustíveis.** 2011. 146 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Processos Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

HEIDERSCHEIDT, D. et al. Conceitos aplicados à poluição do solo decorrente do derrame de petróleo e seus derivados. **Revista Maiêutica**, Indaial, v. 1, n. 4, p.7-14, ago. 2016.

JERÔNIMO, C. E. M.; KITZINGER, W. G. C. M.. Dimensionamento de um landfarming para tratamento de borras oleosas utilizando critérios de um reator batelada. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 3, p.1273-1285, 3 out. 2014. Universidad Federal de Santa Maria. http://dx.doi.org/10.5902/2236117014329

MACIEL, A. G. P C et al. Contaminação do subsolo por hidrocarbonetos do petróleo. **Cadernos da Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, v. 1, n. 3, p.57-64, nov. 2015.

MARQUES, E. M.; GUERRA, A. J. T. **Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo.** 2015. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

NANO, G.; BORRONI, A.; ROTA, R. Combined slurry and solid phase bioremediations of diesel contaminated soil. J. Hazard. Mater.,100:79-94, 2003.

PIRES, A. S. et al. Remediação de solos contaminados por hidrocarboneto para tratamento off site, via processo oxidativo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 11., 2018, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Abes, 2018. p. 60 - 75.

PORTO, D. C. **Investigação da contaminação do solo e das águas subterrâneas por óleo combustível: estudo de caso em Riberão Preto (SP) - Empresa Viação Garcia.** 2014. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

FRTR - Federal Remediation Technologies Roundtable Solidification/Stabilization: Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming excavation). Disponível em: http://www.frtr.gov//matrix2/section4/4-21.html. Acesso em 28 de maio de 2019.

ROJAS, J. W. J. **Estabilização de solos.** Caçapava do Sul: Unipampa, 2015. Disponível em: <http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/engenhariasanitariaeambiental/files/2015/09/Caderno-1-Estabiliza%C3%A7%C3%A3o-de-Solos.pdf>. Acesso em: 28 maio 2019.

SILVA, L. J. **Processo de Landfarming para Tratamento de Resíduos Oleosos.** 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/landfarming-para-tratamento-de-residuos-oleosos.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

TOMASSONI, F. et al. Técnica de biorremediação do solo. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 3, p.46-56, maio 2014.

TOTTI, P. **Comparação da eficiência das técnicas de bombeamento, tpe e dpe para remediação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo.** 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Paulista "júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2015.

VIOTTI, M. A. P. et al. Biorremediação de solo contaminado por óleo lubrificante usado em biopilha de bancada. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 34, p. 5-14, ago. 2017.

UEBEL, A. et al. Processos de remediação do solo contaminado com chumbo. **Revista Caderno Pedagógico**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.63-71, 8 jun. 2017. Editora Univates. http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1405

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO SOBRE ERECHIM - RS

**Luana Carina Kuhn; Maurício Oliviecki de Lima; Vanessa Tibola da Rocha**
URI– ERECHIM, RS 331, Nº 345, Bairro Demoliner, Erechim, RS, Brasil.
luannakuhn8@hotmail.com; mauriciolima61@hotmail.com; vanessarocha@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O mundo é urbano, atualmente 54% da população global vive em cidades. Como resultado de tal processo, há necessidade de: construções sustentáveis; espaços verdes convidativos ao uso; mobilidade coletiva eficiente, entre outras demandas de planejamento urbano sustentável. No entanto, há também, uma questão pouco considerada na maioria das cidades brasileiras que são os resíduos sólidos urbanos e a coleta seletiva. Diante disso, o objetivo deste artigo é descrever como a cidade de Erechim, no Rio Grande do Sul, tem gerenciado os resíduos provenientes da coleta seletiva. A metodologia do trabalho é de caráter descrito, baseada na análise de dados secundários. Os resultados do artigo enfatizam a ineficiência da coleta seletiva e a precária infraestrutura dos espaços onde é realizado o processo de seleção dos resíduos secos. Contudo, os resíduos urbanos precisam ser considerados como uma estratégia de gestão pública, para a melhor qualidade de vida das pessoas. Assim, é necessário que o destino final dos mesmos seja adequado, bem como, estimular a educação e conscientização da população frente o consumo de produtos e descarte adequado dos mesmo. Isso porque, o ‘‘lixo’’ é resultado das ações e escolhas individuas e que impactam sobre o coletivo.*

***Palavras chave:*** *coleta seletiva, planejamento urbano, urbanização.*

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades tem a capacidade de: conectar e atrair pessoas deste o início das civilizações. E, o homem sopre soube, mesmo que inconscientemente, que há necessidade de viver ‘‘em grupo’’ apresenta benefícios. Dentre esses, ressalta-se as questões que envolvem à segurança, o compartilhamento de atividades, alimentos entre outros bens e serviços descritos ao longo da história (Lynch, 2017; Gehl, 2017).

Segundo o Relatório da ONU-Habitat (2019), deste a revolução industrial a sociedade tem ampliado seu consumo em relação os bens de serviço não duráveis. Além disso, a população apresenta amplo crescimento urbano, fator esse que necessidade de atenção dentro do planejamento das cidades. Pois, com tudo isso, a produção de resíduos sólidos urbanos aumenta. E, se não existir espaço adequado para o destino final dos mesmos a saúde e o bem-estar da sociedade são comprometidos por inúmeros problemas, tais como: doenças, contaminação das águas, dos solos, proliferações de insetos, entre muitos outros.

Segundo o PNUMA (2019), cerca de 3,5 milhões de pessoas não têm acesso ao manejo dos resíduos sólidos. Ainda, atualmente estimasse que a população global produz anualmente cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos e até o ano de 2025 esse dado deve passar para 2,2 bilhões. E, esse aumento representa amplas necessidades de mudança no modo de gestão dos resíduos sólidos, a qual deve ser melhorada, bem como em relação ao comportamento das pessoas e suas escolhas diárias.

O tema resíduos, considerando a coleta seletiva, necessita ser uma estratégia de gestão e planejamento urbano, para que as cidades ampliem seus índices de qualidade de vida. No entanto, é necessário que as pessoas desenvolvam consciência sobre o seu impacto no espaço urbano, seu consumo e modo que realizada a coleta seletiva no seu ambiente residencial – seja em uma residencial e/ou em um apartamento. Assim, pode-se dizer que o sucesso de um sistema bem implementado e gerenciado envolve: educação e a colaboração de todos os residentes urbanos (Soares, Salgueiro e Gazineu, 2007).

Diante disso, o objetivo deste artigo é descrever como a cidade de Erechim, no Rio Grande do Sul, tem gerenciado os resíduos provenientes da coleta seletiva.

## 2. METODOLOGIA

O município de Erechim, no Rio Grande do Sul, é considerado polo da região do Alto Uruguai, também classificado como a segundo mais populoso no norte do estado (105.059 habitantes) Erechim apresenta referência nas áreas de

educação e saúde (IBGE, 2019). Assim, considerar esse território (de cidade média) é indispensável para a temática do artigo (resíduos sólidos urbanos). Pois, o modo como o destino final dos mesmo ocorre pode garantir a qualidade de vida no espaço urbano.

A metodologia do artigo é de caráter descritivo, baseada na análise de dados secundários e desenvolvida conforme pesquisas teóricas em sites, artigos e demais fontes – Figura 1.

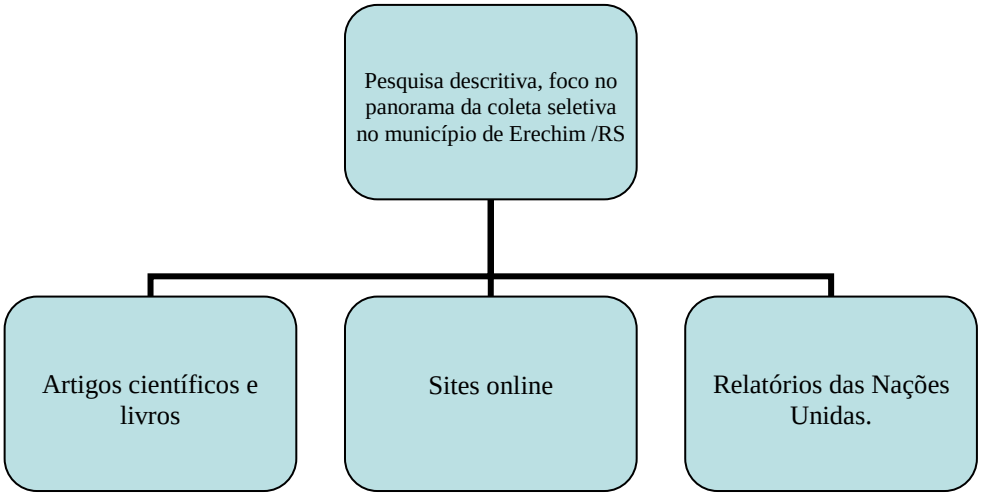



Figura 1. Desenho metodológico da pesquisa
Fonte: Autores, 2019

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Os resíduos urbanos ‘‘lixo’’ no Brasil e a legislação

Desde sempre os resíduos sólidos urbanos (lixo) são considerados um desafio para os municípios, pois a prioridade sempre foi o saneamento e o tratamento de esgoto, mesmo sendo considerado ineficiente na maioria das cidades brasileiras e/ou até inexistente. No entanto, nos últimos anos a destinação final dos resíduos virou prioridade após a Política Nacional de Resíduos sólidos, criada pela Lei nº 12.305, em 2 de agosto de 2010.

Os principais itens abordados nesta Lei estão descritos no Capítulo II Art. 6º, são eles: ‘‘a prevenção e precaução; a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que consiste as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável; o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania; entre outros’’.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017), 54,8% dos munícipios brasileiros desenvolveram seu Plano Integrado de Resíduos Sólidos. Assim, na maioria dos casos a legislação existe. Porém, falta aplicabilidade na prática das mesmas. Isso porque, na teoria a dissertação sobre o tema é facilitada. No entanto, a prática (aplicabilidade) da Lei exige amplos esforços políticos, investimento financeiro considerável e comprometimento da comunidade com a correta separação dos resíduos sólidos urbanos (lixo seco e/ou orgânico).

Nesse sentido, o Plano Integrado de Resíduos Sólidos tem importância pelas práticas sanitárias que visam a redução e eliminação de doenças, quantidade de poluição, a questão da saúde pública, contaminação da água e lençóis freáticos e questões ligadas aos catadores. Segundo pesquisas da WWF (2019), o Brasil é o quarto país do mundo que mais produz lixo, ficando atrás somente dos Índia (terceiro), da China (segundo) e dos Estados Unidos (primeiro).

O maior desafio para à gestão pública é o gerenciamento dos resíduos sólidos, o qual necessita de área e infraestrutura de aterros sanitários adequados para o lixo seco e orgânico, bem como todos os demais processos que a coleta seletiva exige (Política Nacional de Resíduos sólidos, 2010).

### 3.2 A coleta seletiva em Erechim - RS

Segundo a Secretaria do meio Ambiente (2019), no munícipio de Erechim a maior parte do lixo possui destinação final correta. E, até o ano de 2017 Erechim utilizada seu próprio aterro sanitário (Figura 2) para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos. Ainda, as atividades do mesmos tiveram início em 2008 e nove anos depois forram desativado.

Assim, deste 2018 o município de Erechim tem terceirizado o processo que envolve a coleta seletiva dos resíduos orgânicos, para um empresa privada denominada CRI Coleta e Industrialização de Resíduos Ltda, que tem como área para recebimento destes resíduos a cidade de Ipumirim, no estado de Santa Catarina. O município aonde a empresa tem

suas instalações para o descarte final dos resíduos orgânicos, coletados em Erechim, possui 7.565 habitantes, um PIB de R$ 41.148,54 e a taxa de escolaridade é elevada (99,7%).



Figura 2. Vista aérea da área do aterro sanitário de Erechim.
Fonte: Google maps, 2019

Já o lixo seco é coletado e destinado as associações conveniadas (Figura 3), a partir de um cronograma que, tem o intuito de fazer com que todas as associações receberem a mesma quantidade de resíduos, em média 37 toneladas por mês, cerca de mil duzentos e trinta e três quilos de resíduo seco por dia. Após o descarregamento do resíduos na associação conveniada e realizada a separação por tipo de material que, pode ser: papel, vidro, metal, entre outros. Posteriormente, os resíduos são pesado e vendido.




Figura 3. Mapa de localização das associações de resíduos secos em Erechim
Fonte: Autores, 2019

No ano 2018 cerca de 2.229 toneladas, conforme a Secretaria do meio Ambiente, foram repassadas a empresa terceirizada (CRI), como resíduo orgânico, o que dá mais de 185 toneladas/mês. O número total de resíduos que gera renda no município poderia ser ainda maior se não houvesse a influência de catadores irregulares e separação inicial (residencial) fosse adequada em 100% dos casos. Convém ressalta que, a reciclagem é um processo indispensável para o desenvolvimento sustentável das cidades e isso envolve questões sociais, ambientais e econômicas justas para todos.

No entanto, esse é um dos maiores desafios da sociedade (a sustentabilidade), uma vez que, poucas ações são direcionadas ao bem comum coletivo. Diante disso, a Figura 3, ressalta a precariedade da infraestrutura das associações que recebem os resíduos secos do município. Há ainda, deficiência nas condições de trabalho dos envolvidos no processo e insalubridade, na maioria dos casos.

Cada município deve ter seu Plano Municipal de Gestão e de Resíduos, Erechim possui o plano, mas o mesmo foi elaborado no período em que o aterro sanitário ainda estava em funcionamento. No entanto, alguns itens não se aplicam mais a realidade atual, tais como: "Neste plano municipal devem haver informações como a origem, o volume, caracterização e as formas de destinação e disposição final adotadas". Infelizmente, esse é um dado negligenciado em relação ao acesso, armazenamento e fornecimento dos dados.

A coleta de resíduos sólidos domiciliares é um dos principais serviços da empresa responsável terceirizada, no munícipio de Erechim. Especialmente, realizada em cada imóvel da área de cobertura da limpeza, a coleta segue uma rotina fixa e é feita nos mesmos dias da semana e em horários regulares, ininterruptamente – conforme Figura 4.

O tempo entre a geração do resíduo sólido domiciliar e seu destino final não deve exceder uma semana, para evitar proliferação de moscas, aumento do mau cheiro e a incidência de animais roedores, insetos e entre outros. Assim, deve-se remover de modo rápido e seguro os resíduos para tratamento e destinação final sanitária, evitando problemas estéticos, ambientais e de saúde pública, segundo a empresa CRI.

Após a coleta, na cidade de Erechim, os caminhões seguem para o antigo aterro sanitário de Erechim, aonde é feita a pesagem e a separação de lixo orgânico e do lixo seco. Na área onde está situado o aterro sanitário do município, há uma central de triagem de resíduos, a balança de pesagem dos caminhões da coleta e uma central de transbordo para o carregamento das carretas que levam o lixo orgânico para o aterro sanitário de Ipumirim, em Santa Catarina.

O lixo orgânico é devidamente separado e assim que possível é carregado para transporte ao seu destino final, no aterro da empresa CRI. O lixo seco é separado e totalmente destinado para as associações de catadores, parceiras da Prefeitura Municipal de Erechim. Assim, após a triagem realizada pelas associações, o material que não é reaproveitado (rejeito) é destinado juntamente com o lixo orgânico para aterro sanitário em Santa Catarina.

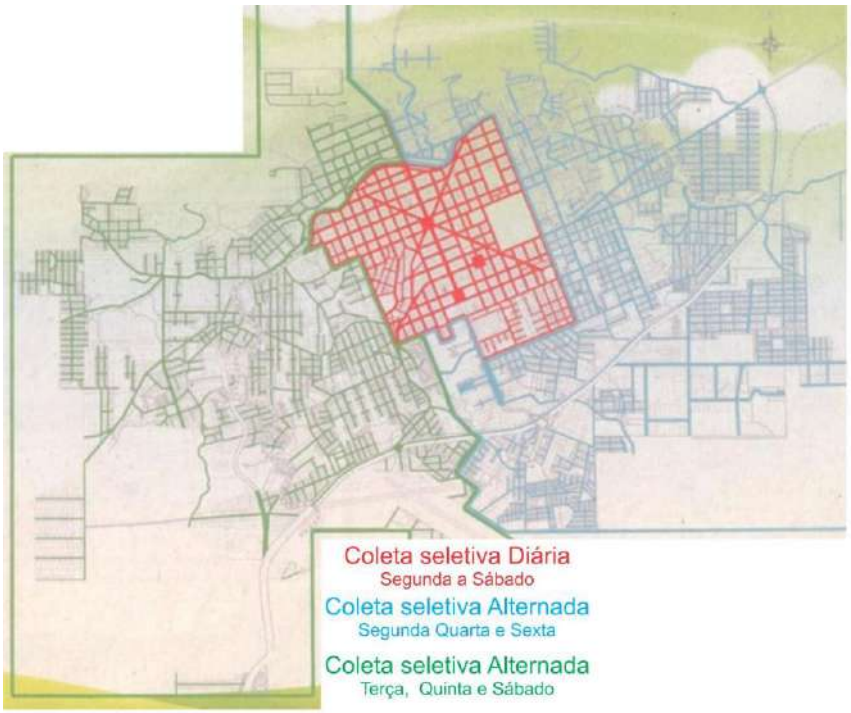



Figura 4. Mapa da coleta seletiva de Erechim
Fonte: Adaptado pelos autores da Prefeitura Municipal de Erechim, 2019

No aterro, a CRI faz a gestão de milhares de toneladas de resíduos. O que ficará armazenado no solo, não prejudicará o meio ambiente – desde que, realizado de forma adequada. As lagoas armazenam o chorume, que o resíduo descartado produz com o tempo. Com o devido tratamento, não há riscos de contaminação. Segundo informações disponíveis no site da empresa, o aterro sanitário possui vida útil de vinte anos, e serão administrados pela CRI por mais vinte anos, até o ciclo dos resíduos encerrar.




Figura 5. Interface do site da empresa CRI
Fonte: CRI, 2019

Conforme informações do Secretário do Meio do município, recentemente ocorreu a licitação da coleta do lixo orgânico, lixo seco e transbordo para o município de Erechim. A empresa vencedora do certame foi a Engesa Engenharia e Saneamento Ambiental, que inicia os trabalhos neste mês de agasto. Ainda, o Aterro Sanitário também foi licitado e a empresa vencedora foi a CRI Coleta e Industrialização de Resíduos Ltda.

Quanto ao transporte do lixo, por duas vezes não houve interessados na licitação. No mês de agosto será licitado pela terceira vez. Em razão dessa situação, está sendo realizado um contrato emergencial com a CRI para o transporte a Ipumirim-SC, até homologação da licitação, segundo Jornal Boa Vista (2019).

A empresa CRI fazia a coleta e transbordo dos resíduos em Erechim. Todo material que não é reciclável, que soma mais de 70 toneladas por dia, é enviado para o aterro sanitário da empresa, em Ipumirim/SC, que fica a cerca de 110 km de Erechim. No munício de Erechim, trabalham (considerando todo o processo) cerca de sessenta funcionários.

## 4. CONCLUSÕES

Os resíduos sólidos urbanos apresentam inúmeros desafios ao planejamento urbano das cidades e as políticas públicas e de gestão. E, na maioria dos casos nacionais são negligenciados pela governança, pela população e demais setores. No entanto, o tema (resíduos sólidos urbanos) precisa ser tratado com maior atenção por todos. Pois, esse assunto faz referência direta ao modo de vida das pessoas e suas escolhas, bom como o modo de descarte final dos mesmos.

O caso do município de Erechim revela que, ainda há muito por se fazer quanto aos processos de destinação final dos resíduos sólidos urbanos. E, isso tudo não é responsabilidade apenas da gestão municipal, mas de cada munícipe com a adequado processo de coleta. Ainda, atualmente o município ‘‘perde’’ muito resíduo no seu descarte final. Pois, apenas 1,65% é reciclado. Isso porque, falta consciência em relação aos bens de consumo e a coleta seletiva.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos deste artigo vão para todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que chegássemos a este resultado, em especial aos responsáveis pelo setor do Meio Ambiente da Prefeitura de Erechim pelos dados informados, aos responsáveis das associações que nos receberam e nos auxiliaram explicando o processo, e a nossa professora Vanessa Tibola da Rocha que nos incentivou e nos apoiou, sua ajuda foi de extrema importância para que desenvolvêssemos este artigo.

## 6. REFERÂNCIAS

**CRI (2019).** http://www.cricoleta.com.br/empresa/

**Gehl, 2017.** *Cities for people*. **Island Press; Edição: 2nd None ed (6 de setembro de 2010)**

**Google maps, 2019.** https://www.google.com.br/maps/@-27.6606268,-52.2094591,952m/data=!3m1!1e3

**IBGE, 2019. https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/erechim/panorama**

**Jornal Boa Vista (2019).** https://jornalboavista.com.br/23082019nova-empresa-realizara-a-coleta-de-lixo-em-erechim

**Lynch, 2017; A imagem da cidade. WMF Martins Fontes; Edição: 3ª (1 de janeiro de 2011).**

**Ministério do Meio Ambiente (2017)**. https://www.mma.gov.br/informma/item/15166-54-dos-munic%C3%ADpios-t%C3%AAm-plano-de-res%C3%ADduos.html

**ONU Habitat (2019). https://colegiopoliedro.com.br/polionu/pdf/Guia-ONU-Habitat-Polionu-2019.pdf**

**PNUMA (2019). http://web.unep.org/pnuma-35-bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-t%C3%AAm-acesso-ao-manejo-do-lixo**

**BRASIL.** DECRETO Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

**Prefeitura Municipal de Erechim, 2019.** https://www.pmerechim.rs.gov.br/pagina/315/roteiro-da-coleta-seletiva

**Secretaria do meio Ambiente (2019).** https://www.pmerechim.rs.gov.br/pagina/295/sec-municipal-de-meio-ambiente

**SOARES, Liliane Gadelha da Costa; SALGUEIRO, Alexandra Amorim; GAZINEU, Maria Helena Paranhos (2007) http://web-resol.org/textos/artigo5.pdf**

**WWF (2019).** http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2019-03/brasil-e-o-4o-pais-que-mais-produz-lixo-no-mundo-diz-wwf

**Techoje.** http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1153

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EFEITOS DA APLICAÇÃO ANTECIPADA DE FUNGICIDA SOBRE COMPONENTES DE RENDIMENTO DE CULTIVARES DE SOJA

**Maurício Henrique Berton**
**Lucas Haiduki**
**Jardes Bragagnolo**
**Tanise Luisa Sausen**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
mauricioberton@hotmail.com; lucashaiduki1999@gmail.com; jardes@uricer.edu.br; tasausen@uricer.edu.br

**Resumo:** *A ferrugem asiática da soja, causada principalmente pelo fungo Phakospsora pachyrhizi, é considerada uma das principais doenças que ocorrem, causando as maiores reduções de produtividade. Os principais efeitos da ferrugem asiática estão associados a uma diminuição da área foliar e da assimilação de carbono que, acarretam na redução do tamanho dos grãos por vagem. As práticas de manejo para a prevenção ou controle da ferrugem asiática da soja envolvem a aplicação de fungicida em momentos adequados, ao longo do ciclo, a fim de prevenir a incidência da doença. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade de duas cultivares de soja com diferentes grupos de maturação (ciclo precoce e tardio) em diferentes intervalos de aplicação do fungicida BAYER FOX® XPRO, com cinco diferentes tratamentos. Foram realizadas avaliações de número de vagens, de grãos/vagens, peso médio de grãos e peso de mil grãos (PMG) e análises de severidade da doença e produtividade média por hectare. Os principais efeitos da aplicação de fungicida foram observados no parâmetro PMG e indicaram diferenças no potencial produtivo das cultivares avaliadas. As aplicações preventivas de fungicidas acarretam em incremento na produtividade.*

***Palavras-chave:*** *Ferrugem Asiática. Grupos de Maturação. Potencial Produtivo. Peso de Mil grãos.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja (*glycine max* (L.) do mundo, segundo dados da conab (2019). Na safra 2018/2019 observou-se um aumento de 1,8% na área cultivada em relação ao ano anterior (safra 2017/2018), com uma área total de cerca de 36,50 milhões de hectares.

Apesar da cultura apresentar altos índices de produtividade, diversos fatores podem interferir em sua produção, sobretudo as variações nas condições meteorológicas e na incidência de doenças e pragas. A incidência de doenças pode comprometer valores acima de 20% da produtividade (Henning, 2009). Essas perdas ocorrem devido a doenças causadas por fungos, nematoides, bactérias e vírus.

A ferrugem asiática da soja, causada principalmente pelo fungo *phakospsora pachyrhizi*, é considerada uma das principais doenças que ocorrem durante o ciclo de desenvolvimento da cultura pode ocasionar grandes reduções de produtividade. Dependendo do estádio em que se encontra a cultura, observam-se perdas de 10% a 90% na produtividade (Godoy et al., 2016). Tendo em vista que a disseminação dos esporos ocorre pelo vento, podendo se espalhar a longas distâncias. Os principais efeitos da ferrugem asiática estão associados a uma redução na área foliar, reduzindo a assimilação de carbono e, consequentemente, acarretando uma redução no tamanho dos grãos por vagens, ocasionando reduções na produtividade (Sinclair; Hartman, 1999; Yorinori et al., 2002).

Os sintomas da doença observam-se principalmente nos períodos reprodutivos da cultura (estádio de florescimento R1 até no período final de enchimento de grãos, R6). A presença da doença acaba atacando os tecidos foliares, desenvolvendo uma coloração cinza-esverdeada. A doença se desenvolve inicialmente na parte abaxial dos folíolos de soja, ocorrendo a formação de pústulas. As práticas de manejo associadas com a prevenção ou controle da ferrugem da soja envolvem a aplicação de fungicidas**.**

A aplicação de fungicidas deve ocorrer em momentos adequados, ao longo do ciclo, a fim de prevenir a incidência da doença contribuindo para um controle eficaz das lavouras. Atualmente tem se observado um aumento da resistência aos principais grupos de fungicidas utilizados (Forcelini, 2016).

Neste trabalho foi utilizado para o controle químico da ferrugem asiática, o produto comercial da Bayer Fox®Xpro, contendo em sua composição três modos de ação e três ingredientes ativos em sua concentração. O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto da aplicação antecipada de fungicida, em diferentes intervalos de tempo, no potencial

produtivo de duas cultivares de soja, com diferentes grupos de maturação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido na fazenda granja Berton, localizada no município de Machadinho, RS, distrito de bela vista, coordenadas centrais longitude de 51°40'46"o e latitude de 27°38'39"s, com altitude de 706 metros e clima cfb (Alvares *et al.*2013). O solo predominante na área do experimento é um latossolo vermelho aluminoférrico. Para este estudo foram utilizadas duas cultivares de soja de diferentes grupos de maturação classificadas para região. As cultivares avaliadas foram Brasmax raio 50I52RSF IPRO e Brasmax tornado 6863RSF RR. A semeadura de ambas cultivares foi realizada no dia 8 de dezembro de 2018.

Para semeadura adotou-se o sistema de agricultura de precisão com espaçamento de 0,45 m e adubação de 350 kg $ha^{-1}$ de NPK (3:27:14). A densidade final de plantas no cultivar raio 50I52RSF IPRO foi de 14 plantas/m linear, resultando assim em cerca de 311.000 plantas $ha^{-1}$. Já na cultivar tornado 6863RSF RR, a densidade da semeadura foi de 10 plantas m/linear, obtendo um valor final de cerca de 222.000 plantas $ha^{1}$.

As sementes das duas cultivares foram tratadas com o produto Standak® Top para proteção do potencial genético das sementes de soja, na concentração de 2 ml $kg^{-1}$ de sementes. Também foi aplicado na semeadura, o inoculante da Basf Gelfix 5 para promover maior nodulação. Em cada tratamento realizado, utilizou-se junto o fungicida os inseticidas Connect® 800 mL $ha^{-1}$ (IMIDACLOPRIDO + BETA-CIFLUTRINA) + Belt® (FLUBENDIAMIDA) 80 mL $ha^{-1}$ e Turbo® (BETA-CIFLUTRINA) 70 mL $ha^{-1}$ e para cada aplicação utilizou-se o adjuvante Aureo® (ÉSTER METÍLICO DE ÓLEO DE SOJA) 250 mL $ha^{-1}$ para a cultivar Tornado, devido esta ser uma cultivar RR. Para a cultivar Raio (Intacta) utilizou-se junto ao fungicida o adjuvante Aureo® (ÉSTER METÍLICO DE ÓLEO DE SOJA) 250 mL $ha^{-1}$ e na segunda e terceira aplicação utilizou-se inseticida Connect® 800 mL $ha^{-1}$ (IMIDACLOPRIDO + BETA-CIFLUTRINA), para controle de percevejo.

### 2.1 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados. Para este estudo foram utilizados cinco diferentes tratamentos de fungicida Bayer Fox® xpro, de acordo com e época de aplicação e o estádio vegetativo da cultura (intervalos quinzenais recomendados de aplicação) (Tabela 1 e Figura 1).

Dentro de cada bloco os tratamentos foram distribuídos aleatoriamente. Cada tratamento compreende quatro repetições. Cada repetição constitui uma parcela de quatro fileiras, com 5,0 m de comprimento e 1,35 m de largura, equivalente a uma área de 6,75 $m^2$.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos e dias de aplicação apôs emergência (DAE) utilizados no ensaio com as cultivares Brasmax Raio 50I52 IPRO (Precoce), e Brasmax Tornado 6863 RSF RR (Tardia), safra 2018/2019.

| Tratamento | Épocas de Aplicação do Fungicida (DAE) | Cultivares |
|---|---|---|
| T1 Testemunha | 0 | Precoce/Tardia |
| T2 Preventiva | 30 | Precoce/Tardia |
| T3 Preventiva | 45 | Precoce/Tardia |
| T4 Curativa | 55 | Precoce/Tardia |
| T5 Erradicativa | 64 | Precoce/Tardia |

Fonte: O Autor (2019)

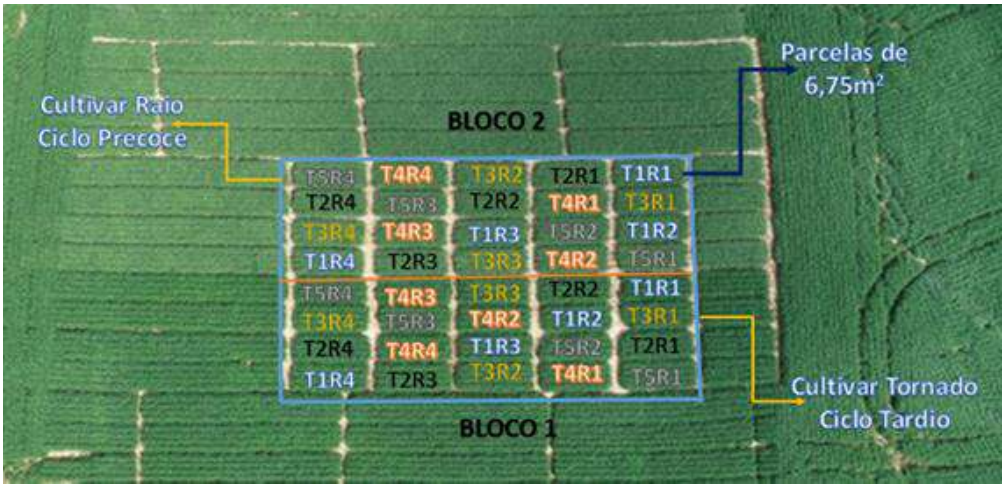



Figura 1. Representação esquemática do Delineamento Experimental na área de condução do experimento com as duas cultivares de soja: Cultivvar Brasmax Raio 50I52 IPRO e Cultivar Tornado 6863RSF RR.

## 2.2 Parâmentros Avaliados

Para reduzir interferências entre as parcelas, a área útil adotada nas avaliações foi de apenas as duas linhas principais no centro da parcela, excluindo as duas das extremidades, avaliando-se nas linhas centrais 10 plantas aleatórias, totalizando 40 plantas por tratamento. Em cada planta foram avaliados os parâmetros: número de vagens, número de grãos por vagem, peso dos grãos, e produtividade média por hectare.

Ao longo do período experimental foram realizadas observações visuais da incidência de pústulas de ferrugem asiática. Após a constatação visual da doença foram coletados 10 folíolos dos terços inferior e médio de cada parcela, constatando um nível de 5% de incidência na superfície abaxial dos folíolos.

Para avaliação da severidade da doença foram contabilizados o número de lesões e urédias por folíolo, por meio da contagem direta em microscópio esteroscópico. Foram realizadas análises de percentual de área foliar lesionada pela doença, tomando como base a escala diagramática de severidade da ferrugem da soja proposta por Godoy et al., (2006) (Figura 2).

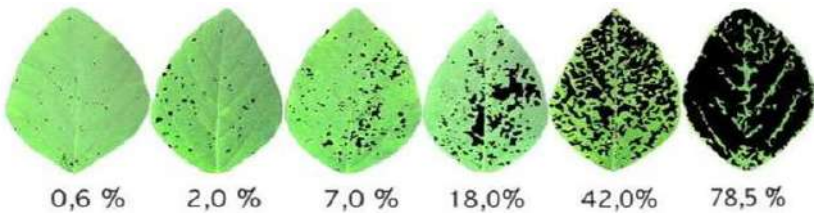



Figura 2. Escala diagramática para Ferrugem Asiática da Soja

Os dados de produtividade foram submetidos à análise de variância pelo teste de ($p \leq 0,05$) e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelos testes de Tukey ($P \leq 5\%$) usando o programa R. O percentual de área foliar lesionada foram comparados entre os tratamentos por meio de imagens.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o número de vagens e número de grãos da cultivar Raio 50I52 IPRO, foram observadas diferenças entre os tratamentos 1 (testemunha) e 5 (tratamento químico curativo). Para o peso de grãos foram observadas diferenças entre os tratamentos 2 (controle preventivo com aplicação antecipada) e 3 (controle preventivo com aplicações quinzenais) em relação aos tratamentos 1 e 5. Para o tratamento 4 (tratamento curativo iniciado após a manifestação de doença) não foram observadas diferenças em relação aos tratamentos 2, 3 e 5. Para o tratamento T1, observa-se uma produtividade média de 27.4 sc/ha, onde a maior produtividade se encontra no tratamento T2 com produtividade média de 57.5 sc/ha, seguida de T3 com produtividade de 54.5 sc/ha, já em T4 uma produtividade de 45.7 sc/ha, e em T5 uma produtividade de 44.6 sc/ha.

O peso de mil grãos (PMG) foi maior no tratamento 2 comparado aos demais tratamentos (1, 3, 4 e 5). Os menores valores foram observados nos tratamentos 1 e 5.

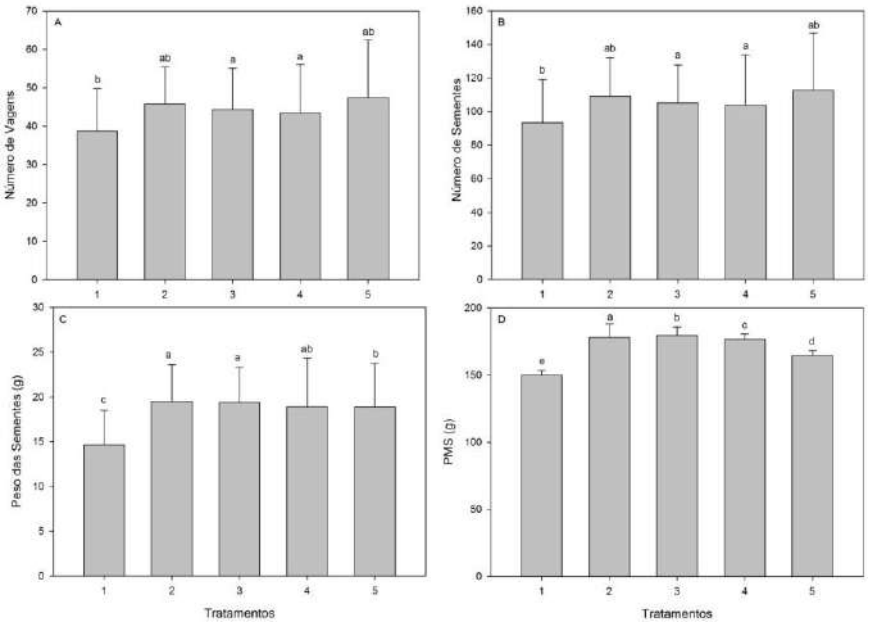



Figura 3. Parâmetros de Produtividade na cultivar Brasmax Raio 50I52 IPRO sob diferentes tratamentos de aplicação de fungicida. Valores representam médias seguidos de desvio padrão (n = 40). Letras diferentes indicam difierença (p< 0,05)

Na cultivar, Brasmax Tornado 6863RSF RR, observou-se diferença entre os tratamentos para todos parâmetros avaliados: número de vagens (p =0,02) (Figura 5A), número de grãos (p = 0,02 (Figura 5B), Peso de grãos (p <0,001) (Figura 5C) e peso de mil grãos (p <0,001) (Figura 5D). O número de vagens foi menor nos tratamentos 1 e 5 em relação aos demais tratamentos. O número de grãos e o peso de grãos foram menores no tratamento 1. Para o tratamento T1, observa-se uma produtividade média de 57.5 sc/ha, onde a maior produtividade se encontra no tratamento T3 com produtividade média de 122,5 sc/ha, seguida de T2 com produtividade de 110,4 sc/ha e em T5 uma produtividade de 79,5 sc/ha.

Para o PMG observou-se que os tratamentos 2, 3 e 4 não diferem entre si e são maiores comparados aos tratamentos 5 e 1, respectivamente.

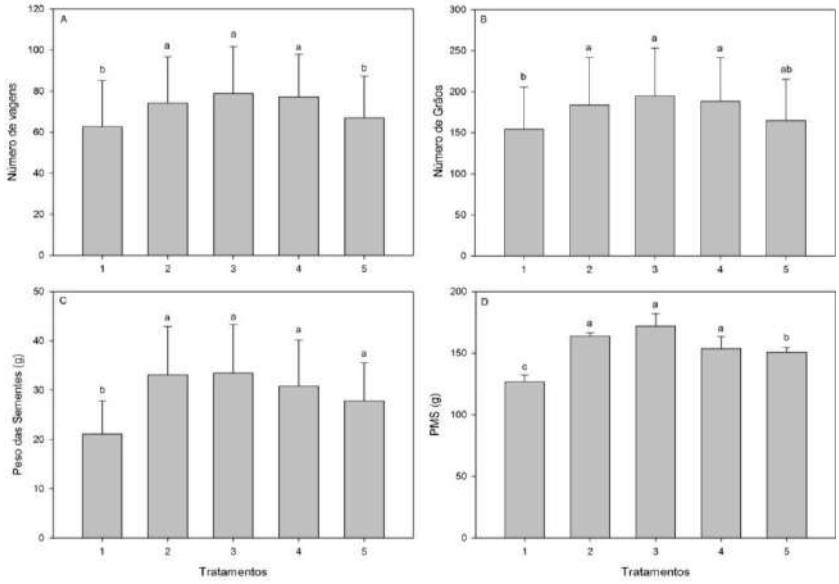



Figura 4. Parâmetros de Produtividade na cultivar Brasmax Tornado 6863 RSF RR sob diferentes tratamentos de aplicação de fungicida. Valores representam médias seguidos de desvio padrão (n = 40). Letras diferentes indicam difierença (p< 0,05)

A aplicação de fungicida de forma preventiva, ou seja, antes da instalação da doença, propiciou maiores produtividade, sendo nas aplicações antecipadas preventivas (T2) ou nas aplicações preventivas recomendadas (T3) para ambas cultivares testadas. Este resultado pode ser explicado pelo efeito residual, associado ao melhor desempenho do fungicida no controle da infestação, proporcionado assim um melhor estande de lavoura.

Constatou-se menor severidade de doença e maior produtividade em T2 e T3, sobretudo na cultivar tardia. De acordo com Godoy et al. (2010) quando se realizam aplicações de forma preventiva ocorrem reduções na severidade da doença, resultando em um incremento significativo na produtividade. Sendo assim, atrasos na aplicação de fungicidas resultam em perdas de produtividade e aumento significativo de pústulas de ferrugem asiática, observado neste estudo em T5.

O PMG indica o potencial produtivo das cultivares. As cultivares analisadas apresentam grupos de maturação distintos (precoce e tardio). Apesar do plantio ter sido realizado após a data recomendada observou-se que na cultivar precoce o PMG foi superior ao observado na cultivar tardia (PMG médio em T2 da cultivar Raio 178g, e PMG médio da Tornado em T2 164g, respectivamente), mesmo com os efeitos positivos da aplicação antecipada de fungicida (T2).

Neste trabalho, houve atraso de plantio da cultivar precoce, o que resultou em redução da fase vegetativa. As plantas apresentaram baixo porte, redução no número de nós e, consequentemente menos ramos produtivos, resultando em menor número de vagens/planta, número de grãos e peso médio de grãos (Figuras 4A, 4B e 4C e Figuras 5A, 5B e 5C).

Na cultivar precoce, a redução da fase vegetativa acarretou num desenvolvimento reprodutivo acelerado, reduzindo o número de flores. Essa redução de flores foi também associada com um menor PMG em relação a cultivar tardia. Essas diferenças foram observadas independente da aplicação de fungicida.

As aplicações antecipadas de fungicidas (T2) ou no momento indicado (T3) nos estádios R1 (início do florescimento) e R5 (início do enchimento dos grãos), resulta em maior eficiência de produtividade. As aplicações realizadas após a planta estiverem em estágio de desenvolvimento R6 (pleno enchimento das vagens ou superior), não permitem a expressão de todo o potencial produtivo, devido a maior incidência de doença ocasionando reduções na produtividade, observado neste estudo em T5.

Realizando as aplicações de fungicida no momento recomendado (R1 a R5), a planta irá expressar todo o seu potencial, com isso irá influenciar significativamente o peso dos grãos, a produtividade e a severidade das doenças de final de ciclo (Embrapa, 2006). Mediante as condições no campo, as aplicações preventivas resultaram em uma melhor eficiência do fungicida, reduzindo a pressão de inoculo do patógeno e a severidade da doença, de maneira a propiciar maiores produtividades.

## 4. CONCLUSÃO

A cultivar precoce Brasmax Raio 50I52RSF IPRO apresentou maior produtividade (PMG) no tratamento T2, e maior produtividade em sacas por hectare, quando comparado aos outros tratamentos (1, 3, 4 e 5), devido este tratamento apresentar aplicações de fungicida preventivo aos 30 dias após a emergência das plântulas, seguindo das aplicações de intervalo quinzenais recomendadas.

Cultivar tardia Brasmax Tornado 6863RSF RR observou-se para o PMG que os tratamentos T2, T3 e T4 não diferem entre si devido estes tratamentos serem preventivos e a cultivar apresentar um ciclo tardio, mas são maiores comparados aos tratamentos T5 e T1, respectivamente, onde ocorreu uma maior produtividade em sacas por hectare em T3.

Para ambas cultivares, a menor produtividade foi observada na testemunha (T1) seguido do tratamento T5, ocasionando em elevados índices de pústulas de ferrugem nos folíolos. Para o tratamento T5, foi realizada aplicações curativas, ou seja, as pústulas já estavam instaladas nos folíolos da soja (estádio R6), resultando em menor eficiência do fungicida e redução de produtividade.

Atrasos nas aplicações de fungicida resultam no aumento da severidade da ferrugem e na redução da produtividade por hectare.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., DE MORAES GONÇALVES, J.L., SPAROVEK, G., 2013. **Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Zeitschrift.** https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento de safras**. Safra 2018/19. **Oitavo Levantamento**. 2019. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 02 maio 2019.

EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja,** Região central do Brasil, 2006. Londrina: Embrapa Soja, 2006.

FORCELINI, C.A. **Doenças em soja:** dez razões para controlar melhor e colher mais. Universidade de Passo Fundo, 2016.

GODOY, C.V. **Severidade da ferrugem - asiática da soja, Phakopsora pachyrhizi, na safra 2016:** resultados sumarizados dos ensaios cooperativos, Londrina: Embrapa Soja. 2016.

GODOY, C. V. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, Phakopsora pachyrhizi, na safra 2009/10:** resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina.

HENNING, A.A. Manejo de doença da soja *(Glycine max L.* Merrill). **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 19, n.3, p.9-12, 2009.

SINCLAIR, J.B; HARTMAN, G. L. Soybean rust. In: HARTMAN, G. L., SINCLAIR, J. B., RUPE, J. C. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**.4th ed. St. Paul: American Phytopathological Society Press, 1999. p. 25-26.

YORINORI, J.T. Ferrugem asiática da soja (Phakopsora pachyrhizi): ocorrência no Brasil e estratégias de manejo. **Anais.** Encontro brasileiro sobre doenças da cultura da soja, 2, 2002. Aldeia Norte Editora, 2002.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ELETROCOAGULAÇÃO COMO PRÉ-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO

**Marcelo Hemkemeier**
**Viviane Simon**
**Victória Dutra Fagundes**
Universidade de Passo Fundo, BR-285, São José, Passo Fundo-RS, CEP 99052-900
marceloh@upf.br, 105305@upf.br, 153690@upf.br

*Indústrias de laticínios consomem grandes volumes de água e geram efluentes com elevados teores de DQO, nitrogênio (N) e fósforo (P), necessitando de tratamento adequado. A eletrocoagulação (EC) surge como alternativa aos tratamentos convencionais, pois não utiliza produtos químicos, não necessita grandes áreas de implementação e, apresenta elevada eficiência em diversos tipos de efluentes. Assim, objetivou-se avaliar a EC na remoção de DQO, N e P de um efluente sintético de laticínio como pré-tratamento de um processo biológico. Foram realizados dois experimentos com corrente contínua inserida em eletrodos de ferro e alumínio, variando corrente e tensão elétrica. Observou-se maior remoção de DQO e N em E1 (82,23% e 97,13%, respectivamente) que em E2 (77,13% e 93,31%, respectivamente), sendo que para ambos, a redução de fósforo que inicialmente era de 25,53 mg/L, ficou abaixo do nível de detecção. O ensaio E1 resultou em maior consumo energético (203,4 KWh) se comparado a E2 (54 KWh), sendo assim, mesmo com valores menores de remoção, E2 apresentou resultados promissores para utilização como pré-tratamento de processo biológico.*

***Palavras Chave:*** *Eletrocoagulação, Corrente contínua, Efluente, Laticínio.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios apresenta elevado potencial poluidor pois utiliza grandes volumes de água para o beneficiamento do leite, e com isso, gera efluentes líquidos nos diversos setores de produção. Quando lançados nos corpos hídricos sem tratamento adequado, reduzem drasticamente a concentração de oxigênio dissolvido (OD) e colocam em risco todo o ecossistema aquático (Mendonça *et al.*, 2015).

Nesse sentido, com a elevada carga orgânica proveniente deste segmento industrial (Demanda Bioquímica de Oxigênio na ordem de 2000 mg.L-1), que para cada litro de leite beneficiado gera 2,5 L de efluente, é importante enfatizar o cenário Brasileiro atual. O país produz em média 15 bilhões de litros de leite por ano, com uma geração de efluente de aproximadamente 40 bilhões de litros, sendo assim, é evidente a necessidade de tratamento dos efluentes antes de seu lançamento (Mendonça, 2011).

Segundo Braile e Cavalcanti, 1993, laticínios geram efluentes com elevada carga orgânica, sendo comum valores de até 6000 mg/L de DQO, 116 mg/L de nitrogênio, até 46 mg/L de fósforo no sistema (Machado, 2002).

Convencionalmente, estes efluente são são tratados a partir de processos físico-químicos e biológicos, porém apresentam limitações e nem sempre têm uma boa eficiência. O tratamento físico-químico, ao utilizar produtos químicos, apresenta eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo, porém, pode gerar subprodutos tóxicos. Já os processos biológicos apresentam eficiência de remoção de carga orgânica, porém apresentam limitações quanto a remoção de nutrientes e dependem de condições favoráveis de temperatura e pH, para que ocorra a biodegradação através da microbiota presente no sistema. Destaca-se, ainda, a sensibilidade de sistemas biológicos em relação a oscilações bruscas de carga orgânica no meio (acidentes envolvendo soro de leite, por exemplo), pois pode comprometer a eficiência na biodegradação. Outra limitação desses sistemas é a necessidade de grandes áreas para implantação das estações, devido longos tempos necessários de tratamento (Balannec, *et al*., 2005; Chimenos, *et al*., 2006; Irdemez, *et al*., 2006a; Golder, *et al*., 2006). Como alternativa aos tratamentos convencionais, surge a eletrocoagulação (EC). Segundo Garcia-Segura *et al.,* 2017a, a eletrocoagulação apresenta-se como um tratamento promissor pois pode ser utilizada para diferentes tipos de efluente, permitindo a utilização da água tratada em diversos

processos produtivos. Além disso, é um tratamento que não requer, necessariamente, a utilização de produtos químicos, possui baixo custo de investimento e também, não são necessárias grandes áreas para implantação.

A eletrocoagulação é definida como, um processo que consiste em criar hidróxidos metálicos em meio a efluentes por eletrodissolução de anodos solúveis, geralmente produzidos de ferro ou alumínio. Durante o processo eletrolítico ocorre a dissolução do ânodo de metal a ser sacrificado e o fluxo dos íons deste ânodo atuam como agente de coagulação para a ligação de contaminantes. Uma vez em solução, os íons alumínio ($Al^{3+}$) e ferro ($Fe^{2+}$) reagem com os grupos $OH^-$ para formar hidróxidos que ligam os contaminantes por complexação ou atração eletrostática. A formação dos hidróxidos metálicos favorece a formação de flocos por desestabilização do contaminante ou partículas suspensas, que podem ser separadas do líquido por sedimentação ou flotação, dependendo da densidade dos mesmos (Yavuz, *et al*., 2010; Reilly, *et al*., 2018; Bensadok, *et al.*, 2007).

Fator primordial na EC é a densidade de corrente. Valores mais elevados são atribuídos a maiores eficiências de remoção de compostos orgânicos, pois o incremento na densidade de corrente aumenta a formação de flocos de hidróxido e melhorando os resultados da coagulação e da remoção. Outro fator importante a ser ressaltado é o pH do efluente durante a EC, sendo que reflete na eficiência da corrente elétrica, bem como, na solubilidade de hidróxidos metálicos. A potência consumida é mais alta a pH neutro, do que em condições ácidas ou alcalinas devido à variação da condutividade (Eyvaz, *et al.*, 2009).

Estudos utilizando a eletrocoagulação para tratamento de efluente de laticínio, atestam a eficiência do tratamento na remoção de carga orgânica, nitrogênio e fósforo (Tchamango *et al.,* 2010), sendo que um dos fatores mais preocupantes quanto ao efluente gerado pelo segmento, é o descarte incorreto do soro de leite pois o mesmo apresenta altos valores nutritivos e alta carga orgânica. Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência de um processo eletroquímico na redução da demanda química de oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (NTK) e Fósforo Total (P), para utilização como etapa de pré tratamento de um processo biológico.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Configurações experimentais

Para realização do tratamento eletrolítico, foram confeccionados, um protótipo em estrutura acrílica transparente para melhor visualização do processo, e também 3 pares de eletrodos (2 de alumínio e 1 de ferro), sendo cada par, constituído de um ânodo e um cátodo.

Foram executados dois experimentos utilizando corrente contínua, por um período de duas hora, com diferentes valores de vazão, corrente elétrica aplicada e tensão, sendo amostras retiradas ao final de cada hora, para avaliar as variáveis quanto a capacidade de reduzir a carga orgânica, Nitrogênio e Fósforo do efluente. A Tab. 1 apresenta o delineamento experimental, evidenciando os parâmetros mantidos fixos nos experimentos para os dois experimentos.

Tabela 1. Delineamento Experimental dos ensaios de eletrocoagulação.

| Experimentos | E1 | E2) |
|---|---|---|
| Vazão de alimentação (L/h) | 0,6 | 1,2 |
| Corrente Elétrica (A) | 0,50 | 0,30 |
| Tensão (V) | 56,5 | 25 |
| Tempo (min) | 120 | 120 |

Foi utilizado efluente sintético, preparado à base de leite em pó e água, com concentração de 2g/L. O efluente foi previamente caracterizado quanto aos teores de DQO, DBO, NTK, P e Sólidos Suspensos Totais (SST), através de metodologia padronizada pelo Manual de Análise de Águas e Efluentes (APHA, 2000).

O reator confeccionado para a EC apresenta geometria retangular com capacidade de 5,13 Litros. Os eletrodos foram produzidos com chapas de alumínio e ferro, cada um com dimensões de 8 x 8 cm (64 cm²), 1 mm de espessura, e afastados 1 cm um do outro. Em todos os eletrodos foram feitos furos de 5 mm de diâmetro para facilitar a passagem dos gases durante o processo. Os eletrodos foram fixados no fundo do reator com suporte de madeira.

O processo de EC foi realizado com vazão contínua de alimentação com as especificações apresentadas na Fig. 1. Para a aplicação de corrente elétrica utilizou-se uma fonte de corrente contínua (modelo FCC-5002D da New Dawer) provida de controle independente de tensão e intensidade de corrente com duas saídas de energia elétrica. A ligação entre a fonte e os eletrodos foi feita por fios de cobre de 4 mm de espessura e 1,5 m de comprimento. A Figura 1 apresenta um fluxograma do processo de eletrocoagulação aplicado em ambos experimentos.

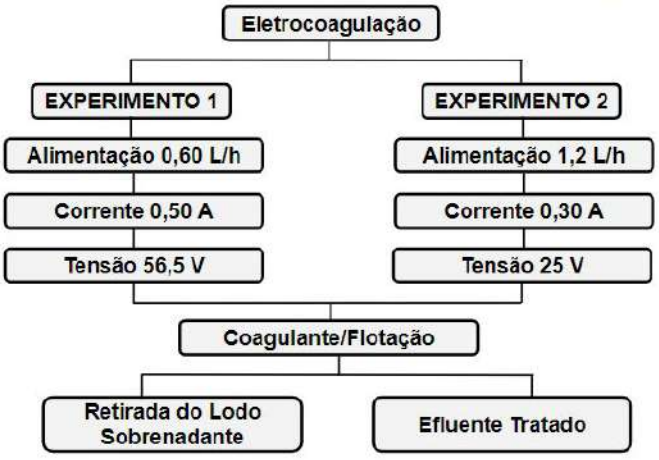



Figura 1. Fluxograma do processo de eletrocoagulação.

**2.2 Análises do efluente tratado**

O efluente tratado foi avaliado quanto aos teores de DQO, N e P utilizando metodologia padronizada pelo Manual de Análise de Águas e Efluentes (APHA, 2000), sendo as amostras analisadas nos tempos, 60 min e 120 min.

**2.3 Eficiência da Eletrocoagulação**

Para avaliar a eficiência da eletrocoagulação na remoção da DQO, NTK e P, utilizou-se metodologia padronizada do Manual de Análise de Água e Efluentes (APHA, 2000). O percentual de remoção de todos os parâmetros foi avaliado utilizando a Eq. 1. Onde "Ci" é o valor da concentração inicial e "Cf" o valor da concentração final.

$$(\%)=(Ci - Cf)/ Ci)*100 \quad (1)$$

**2.4 Densidade de Corrente**

A densidade de corrente foi calculada a partir da Eq. 2, onde,"i" a corrente elétrica aplicada no sistema e "A"a área do eletrodo.

$$DC = (i / A) \quad (2)$$

**2.4 Massa de coagulante inserida ao meio**

Utilizando as Leis de Faraday (Eq. 4), é possível obter a massa de alumínio e ferro inseridos ao meio durante os 120 min de ensaio. Sendo, "i" a corrente elétrica (A), "t" o tempo de ensaio (s), "E" o equivalente gama massa e "F" a constante de Faraday.

$$m = (i*t*E)/F \quad (3)$$

**2.5 Custo de energia**

A Potência durante o processo eletrolítico foi avaliada a partir da Eq. 4, sendo, "P" a Potência (W), "U" tensão aplicada (V) e "i" a corrente elétrica. Em seguida calculou-se o consumo em KWh do tratamento ao final de 120 min com a Eq. 5.

$$P = U*i \quad (4)$$

$$Consumo\ (KWh) = (P * t) / 1000 \quad (5)$$

**3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### 3.1 Caracterização do efluente bruto

A Tabela 2 apresenta a caracterização do efluente bruto para posteriores comparações.

Tabela 2. Características físico-químicas do efluente bruto.

| Parâmetros | Análises Físico-Químicas |
|---|---|
| DQO (mg/L) | 2715,27 |
| DBO (mg/L) | 1900,00 |
| Sólidos Suspensos (mg/L) | 129,33 |
| Nitrogênio Total (mg/L) | 73,27 |
| Fósforo Total (mg/L) | 25,53 |

Com a caracterização do efluente bruto constatou-se que o efluente apresenta biodegradabilidade devido relação DBO/DQO (0,7), valor característico para efluentes de laticínio. Segundo Henares, 2015, os valores considerados ideais de biodegradabilidade para esse segmento estão entre 0,5 e 0,7, sendo que valores mais elevados são característicos de contaminação do efluente com compostos de amônia e outras substâncias tóxicas.

Os sólidos suspensos totais quando presentes em tratamentos biológicos podem prejudicar a eficiência do tratamento, pois ao flotarem formam uma crosta que pode impedir a penetração da luz solar e também contribui para o aumento da temperatura de lagoas, podendo transformar um ambiente aeróbio ou facultativo em um ambiente com condições totalmente anaeróbias. O efluente em questão apresentou o valor de SST de 129,33 mg/L. A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 não estabelece padrões de SST para lançamento de efluentes (BRASIL, 2002), porém, segundo Silva, 2006, uma indústria de laticínios que processa 14.000 Litros de leite por dia, tem esse parâmetro com valores de 470 mg/L.

Os efluentes de laticínios caracterizam-se, pelos seus elevados teores de sais dissolvidos e nutrientes (nitrogênio, fósforo), sendo que, tratamentos biológicos convencionais apresentam baixa eficiência de remoção de ambos. A Resolução CONAMA nº 357 estabelece valores entre 0,5 e 13,3 mg/L para nitrogênio e entre 0,02 e 0,15 para fósforo. Sendo assim, aos teores de nitrogênio e fósforo (73,27 mg/L e 25,53 mg/L, respectivamente) presentes em altas concentrações podem causar eutrofização de recursos hídricos e toxicidade para o ambiente aquático (Prazeres *et al.,* 2012).

### 3.2 Eletrocoagulação

No Experimento 1, com vazão de alimentação menor (0,60 L/h) e corrente elétrica elevada (0,50 A), o tempo de detenção hidráulico (TDH) foi de aproximadamente 8,5h, relativamente alto, se comparado ao segundo experimento, que com vazão maior (1,20 L/h) e corrente elétrica menor (0,30 A), que resultou em um TDH de 4,3h. Em E1, observou-se também, maior clarificação do efluente ao final dos 120 min de ensaio. Em ambos os ensaios o efluente, inicialmente em temperatura ambiente, aqueceu significativamente. Segundo Hashim *et al.,* 2017a, maiores tempos de detenção resultam em maior eficiência no tratamento eletrolítico.

### 3.3 Remoção de DQO, N e P

Em relação a DQO é possível observar que o experimento E1 apresentou maior eficiência de remoção ao final dos 120 min de ensaio (82,23%) se comparado ao experimento E2 (68,97%) (Fig. 2). Ocorreu formação substancial de lodo sobrenadante em ambos experimentos, o que significa que maior parte da carga orgânica está presente em forma de sólidos. Em seu estudo Kushwaha *et al,* 2010, obteve uma remoção de 70% da DQO em um efluente de laticínio utilizando eletrocoagulação a partir de eletrodos de ferro, já Tchamango *et al.,* 2010, obteve uma remoção de 61% em eletrodos de alumínio demonstrando que a utilização de eletrodos de diferentes materiais pode influenciar na eficiência de remoção. O presente estudo utilizou eletrodos de alumínio e ferro, que ao sofrerem corrosão pela inserção de corrente elétrica, inserem coagulante ao meio, e assim, ocorre a formação de flocos de baixa densidade e remoção de carga orgânica na forma de lodo sobrenadante. Ainda, Bensadok *et al*., 2011, avaliou a remoção de DQO de efluente produzido a partir de leite em pó, com carga característica do efluente da indústria de laticínios, obtendo remoção de DQO de 80 %, semelhante aos valores resultantes deste estudo para o mesmo tipo de efluente.

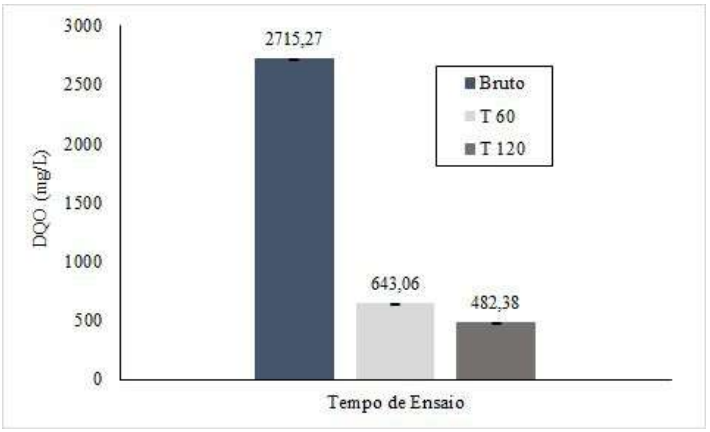



Figura 2. Resultados de DQO do Experimento 1.

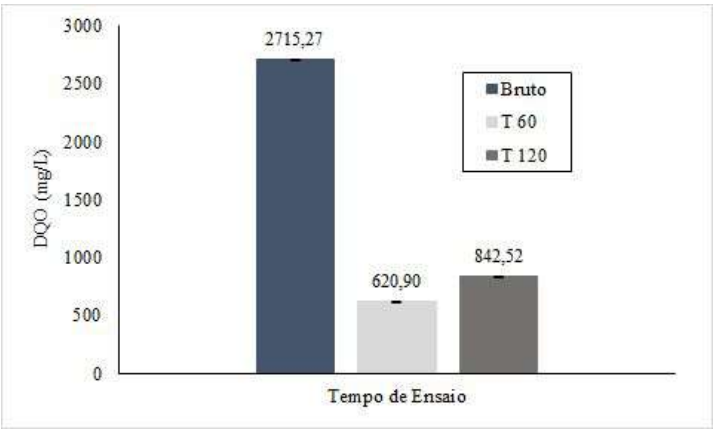



Figura 3. Resultados de DQO do experimento 2.

A remoção de nitrogênio foi mais eficiente no Experimento 1 (97,13%) que no 2 (93,31%), porém em ambos a remoção foi eficiente com elevados percentuais. Os resultados podem ser observados nas Fig. 4 e Fig. 5. O nitrogênio está presente, em sua maioria, na forma de proteínas, sendo removido com a retirada de sólidos suspensos do efluente. Tchamango *et al.,* 2010, obteve uma remoção de 81% de nitrogênio utilizando eletrodos de alumínio em um processo de eletrocoagulação com tempo de eletrólise de 30 minutos. Em estudo realizado por Karamati-Niaragh *et al.,* 2019, os elevados percentuais de remoção de compostos de nitrogênio foi atribuído às elevadas densidades de corrente utilizadas, parâmetros semelhantes aos utilizados neste estudo.

Observou-se também que, no tempo 60 min a remoção de DQO e N foi maior para ambos os experimentos (76,31%; 77,13% e 99,04%; 96,31%, respectivamente) do que no tempo 120 min. Esse fato pode ser explicado pela remoção manual de lodo que ocorreu ao final dos ensaios, aumentando a mistura de sólidos suspensos na hora da amostragem.

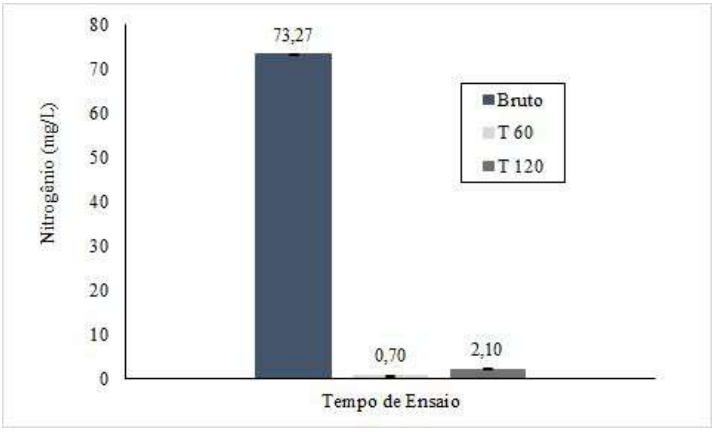



Figura 4. Resultados de Nitrogênio do experimento 1.

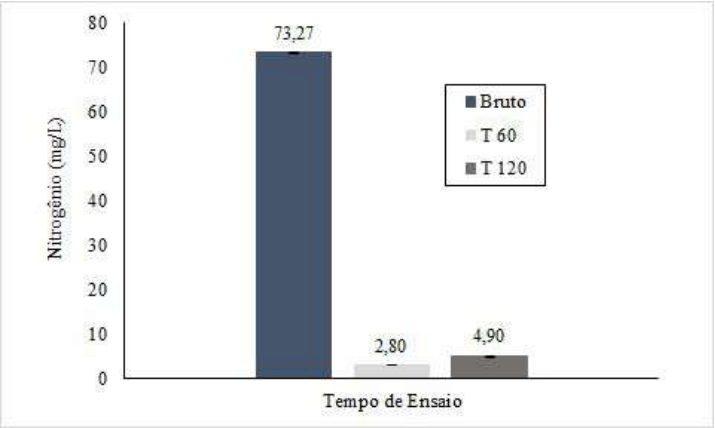



Figura 5. Resultados de Nitrogênio do experimento 2.

A concentração inicial de fósforo do efluente bruto era de 25,53 mg/L e após tratamento eletrolítico, não foram detectadas concentrações remanescentes. Taufer (2016) obteve após 20 minutos de eletrólise, com eletrodos de alumínio, em média, uma remoção de 95,6% de fósforo, e, em duas das oito amostras estudadas, o resultado obtido esteve abaixo do limite de detecção (0,01 mg.L-1) do método espectrofotométrico, enquanto Tchamango *et al.,* 2010, obteve 94% de remoção para eletrodos do mesmo material demonstrando a alta eficiência do processo eletrolítico na remoção de fósforo. Vasudevan *et al.,* 2009 e Lacasa *et al.,* 2011, avaliaram a eficiência de remoção de fósforo através de eletrodos de alumínio e ferro e atribuíram a eficiência do tratamento à adsorção de fosfato em hidróxido (principal efeito do ferro) enquanto a precipitação direta e a adsorção coexistem com o eletrodo de alumínio.

Conforme resultados obtidos neste estudo, a densidade média de corrente para o ensaio E1 foi de 556,99 A/m², enquanto em E2 foi de 306,99 A/m², onde a maior densidade de corrente foi responsável por maior eficiência na remoção de DQO, N e P. Em ambos os experimentos, com o aumento da densidade de corrente, houve também, aumento significativo de temperatura do efluente tratado. Esse efeito é atribuído ao processo de eletrólise, que se caracteriza por ser não espontâneo e exotérmico.

A elevada densidade de corrente afeta também, na corrosão do ânodo, influenciando diretamente na concentração de coagulante inserida ao meio. A maior inserção de coagulante ao meio ocorreu em E1 (6,95g/L) com a maior densidade de corrente. Já em E2, com menor densidade de corrente a inserção foi de apenas 1,09 g/L. Ocorreram significativa no consumo de eletrodos, e com isso, variação considerável no consumo de energia. Maiores densidades de corrente são responsáveis por maior consumo de energia durante o tratamento (Eyvaz, *et al.,* 2009). Esse efeito pode ser observado através dos resultados deste estudo, sendo que, houve maior consumo energético no experimento 1 (203,4 KWh) com maior densidade de corrente, que no 2 (54 KWh).

## 4. CONCLUSÕES

O experimento E1 apresentou maior eficiência de remoção de DQO, N (82,23% e 97,13%, respectivamente) se comparado ao Experimento E2 (68,97% e 93,31%, respectivamente). Para ambos os experimentos o fósforo foi removido em concentrações que não foram possíveis de detectar através do método utilizado.

Mesmo o experimento E1 apresentando maior eficiência de remoção ele consumiu maior energia (203,4 KWh) se comparado ao experimento E2 (54 KWh).

Como o intuito do protótipo é ser utilizado como pré-tratamento, o E2 que apresentou os menores valores de remoção e gasto energético, poderia ser utilizado anteriormente a um tratamento biológico.

Para estudos futuros, sugere-se a redução da densidade de corrente através do aumento da área do eletrodo, e também, a utilização da corrente alternada, para redução de custos com energia.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, A. Standard methods for the examination of water and wastewater, 2000.

Balannec, B., Vourch, M., Rabiller-Baudry, M., & Chaufer, B. (2005). Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration. *Separation and Purification Technology*, *42*(2), 195-200.

Bensadok, K.; Belkacem, M.; Nezzal, G. Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation. Desalination, v.206, p.440-448, 2007.

Braile, P. M.; Cavalcanti, J. E. W. A. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. São Paulo: Cetesb, 1993.

BRASIL. Resolução CONAMA no 357 de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p. 58-63, 2005.

Chimenos, J. M., Fernandez, A. I., Hernandez, A., Haurie, L., Espiell, F., & Ayora, C. (2006). Optimization of phosphate removal in anodizing aluminium wastewater. *Water research*, *40*(1), 137-143.

Eyvaz, M., Kirlaroglu, M., Aktas, T. S., & Yuksel, E. (2009). The effects of alternating current electrocoagulation on dye removal from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal, 153(1-3), 16–22.* doi:10.1016/j.cej.2009.05.028

Garcia-Segura, S., & Brillas, E. (2017). Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, *31*, 1-35.

Garcia-Segura, S., Eiband, Maria M. S. G., de Melo, J. V., Martínez-Huitle, C. A. Eletrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: a general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of electroanalytical Chemistry,* 2017.

Golder, A. K., Samanta, A. N., & Ray, S. (2006). Removal of phosphate from aqueous solutions using calcined metal hydroxides sludge waste generated from electrocoagulation. *Separation and purification technology*, *52*(1), 102-109.

Hashim, K.S., Shaw, A., Al Khaddar, R., Pedrola, M.O., Phipps, D., 2017a. Energy efficient electrocoagulation using a new flow column reactor to remove nitrate from drinking water: experimental, statistical, and economic approach. *Journal of Environmental Management,* v. 196, 224–233.

Henares, Juliana Ferreira. Caracterização do Efluente de Laticínio: análise e proposta de tratamento. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

İrdemez, Ş., Demircioğlu, N., Yıldız, Y. Ş., & Bingül, Z. (2006). The effects of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation using aluminum and iron plate electrodes. *Separation and Purification Technology*, *52*(2), 218-223.

Karamati-Niaragh, E., Moghaddam, M. R. A., Emamjomeh, M. M., & Nazlabadi, E. (2019). Evaluation of direct and alternating current on nitrate removal using a continuous electrocoagulation process: Economical and environmental approaches through RSM. *Journal of environmental management*, *230*, 245-254.

Kushwaha, J. P.; Srivastava, V. C.; Mall, I. D. Organics removal from dairy wastewater by eletrochemical treatment and residual disposal. *Sep. Purif. Technol.*, v.76, p.198-205, 2010.

Lacasa, E., Canizares, P., Saez, C., Fernández, F. J., & Rodrigo, M. A. (2011). Electrochemical phosphates removal using iron and aluminium electrodes. *Chemical Engineering Journal*, *172*(1), 137-143.

Machado, R. M. G.; Freire, V. H.; Silva, P. C.; Figuerêdo, D. V.; Ferreira, P. E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. ed 1. Belo Horizonte: Segrac, 2002,

Mendonça, H. V.; Sistemas alagados construídos em batelada: Remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio e regulação de pH no tratamento de efluentes de laticínios. Revista Ambiente e Água, v. 10, n. 2, p. 443-453, 2015

Mendonça, H. V. Avaliação da eficiência de sistemas alagados construídos em operação por bateladas no tratamento de efluentes da indústria de laticínios. Dissertação (Mestrado em ecologia aplicada ao manejo e conservação de ecossistemas) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2011.

Prazeres, A. R., Carvalho, F., Rivas, J. Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 110, 48-68, 2012.

Reilly, M., Cooley, A. P., Tito, D., Tassou, S. A., & Theodorou, M. K. (2019). Electrocoagulation treatment of dairy processing and slaughterhouse wastewaters. *Energy Procedia*, *161*, 343-351.

Silva, D. J. P. Gestão ambiental em uma indústria de produtos lácteos. Revista Leite e Derivados. Ano XV. n. 94, p. 52-63, Set/Out. 2006.

Tchamango, S., Nanseu-Njiki, C. P., Ngameni, E., Hadjiev, D., & Darchen, A. (2010). Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. *Science of the total environment*, *408*(4), 947-952.

Yavuz, Y.; Koparal, A. S.; Öğütveren, Ü B.. Treatment of petroleum refinery wastewater by electrochemical methods, *Desalination*, v. 258, n. 1, p. 201-205, 2010.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PET: EVOLUÇÃO, BENEFÍCIOS, IMPACTOS AMBIENTAIS E PROCESSO DE RECICLAGEM

**Kercher, Marcos Antônio**
**Hemkemeier, Marcelo**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
177612@upf.br; marceloh@upf.br;

***Resumo.*** *O desenvolvimento e o avanço da tecnologia dos materiais permitem o desenvolvimento em embalagens descartáveis. Isto trouxe uma comodidade para os consumidores, não tendo mais em preocupar-se com a apresentação de embalagens para adquirir produtos, principalmente bebidas. As empresas de transporte e fabricantes de produtos tiveram como resultado uma redução de custo dos produtos nas embalagens. Outro fator interessante é a alteração do método de compra e venda de produtos, onde se adquire produtos embalados e na quantidade definida pelo fabricante. Porém, a evolução das formas de embalar e dos materiais aplicados nas embalagens está acarretando impactos negativos ao meio ambiente. Este artigo apresenta a evolução das embalagens e os impactos ao meio no descarte de garrafas PET, as forma para evitar que as embalagens sejam descartas de forma incorreta e um estudo de caso para aplicação de uma unidade recicladora na cidade de Horizontina, RS.*

***Palavras Chave:*** *Embalagens, Reciclagens, garrafas PET.*

## 1. INTRODUÇÃO

É notável que o poder de consumo das populações tenha aumentado nos últimos anos. Contudo, isso vem acarretando um incremento de resíduos sólidos. O plástico tem uma grande participação neste grupo de resíduos. É possível supor que um aumento do consumo de produtos plásticos terá como consequência um aumento na geração desses resíduos, e logo, um agravo no problema da destinação do lixo (ROLIM, 2000). Vários estudos foram realizados com relação ao impacto das embalagens, considerados resíduos sólidos, ao meio ambiente, mesmo que estes sejam descartados em aterros sanitários.

É evidente que haverá um incremento na utilização do plástico nas embalagens dos produtos que consumimos. Young (2010) enfatiza um material tão útil como o plástico não será facilmente posto de lado pela nossa sociedade. Considerando que a indústria do plástico tem investido muito tempo, esforço e dinheiro para garantir que o impacto ambiental seja tão baixo quanto possível, o problema reside nas consequências que o plástico pode ter no ambiente depois de o usarmos, algo que não podemos continuar a ignorar. As embalagens PET trouxeram inúmeros benefícios aos consumidores e fabricantes, redução de custo que as embalagens retornáveis exigiam para oportunizar a sua reutilização e redução em custos de logística em função do peso reduzido que as garrafas PET com relação a garrafas de vidro.

Por se tratar de embalagens descartáveis temos enfrentado problemas com relação ao descarte destes produtos mesmo quando realizado de forma correta em aterros sanitários. A situação se torna ainda mais grave quando as garrafas PET são lançadas ao meio ambiente de forma irresponsável. Desta forma, este artigo tem por objetivo apresentar uma alternativa para o descarte de embalagens PET, utilizando a trituração como forma de agregar valor.

## 2. CARACTÉRISTICAS GERAIS DOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU).

Denomina-se resíduo solido urbano, o resto das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, Conforme a ABNT/NBR 1004 (2004), apresentam-se em estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido, e esta também classifica como perigosos (Classe I), não-inertes (Classe II - A), e inertes (Classe II - B). Estes últimos resíduos sólidos inertes são caracterizados pela ausência de seus contribuintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de aspecto, cor, turbidez e dureza.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2001), a necessidade de tratamento do resíduo solido surge devido a fatores como: escassez de áreas para a destinação final do residuo, disputa pelo uso das áreas remanescentes com as populações da periferia, valorização dos componentes do resíduo solido urbano como forma de promover a conservação de recursos e energização de resíduos sépticos.

O Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2019) é uma associação sem fins lucrativos que se dedica a promover a reciclagem do lixo dentro do conceito de gerenciamento integrado.

Existem muitos empecilhos para implantação de um sistema de coleta seletiva e de processamento de lixo, dentre eles, o custo da coleta seletiva é alto, a dificuldade de conscientizar cidadãos, carência de empresas interessadas em comprar o material separado, grandes distâncias entre o município do mercado comprador, não poder garantir fornecimento continuo de matéria-prima de boa qualidade aos compradores.

De acordo com Nunes, Alves e Ferreira (2005), a reciclagem dos materiais plásticos encontrados nos RSU traz vários benefícios ambientais, sociais e econômicos para a sociedade, dentre os quais se destacam a redução do volume do RSU coletado que é removido para os aterros sanitários, economia de energia e petróleo, geração de empregos, menor preço para o consumidor dos artefatos produzidos com plástico reciclado e melhorias sensíveis no processo de decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários.

O PET é fabricado a partir de resinas (polímeros) sintéticos, derivados do petróleo, e sua composição química apresenta grande resistência à biodegradação. Os plásticos apresentam volume significativo e sua separação traz muitos benefícios, pelo fato de suas embalagens poderem ser reaproveitadas (IPT, 2001).

Segundo Nunes, Alves e Ferreira (2005), os plásticos representam certa de 4 a 7% em massa, porem ocupa de 15 a 20% do volume do RSU, o que contribui para o aumento dos custos de coleta, transporte e disposição final.

Os plásticos são divididos em duas categorias importantes, termoplásticos e termo fixos. Os termo fixos são plásticos que uma vez moldados por um processo de transformação não sofrem novos ciclos de processamento, pois acabam não fundindo, impedindo sua reciclagem. Os termoplásticos são mais utilizados, pois os produtos originados deste podem ser reprocessados várias vezes pelo mesmo processo de transformação (NUNES; ALVES; FERREIRA, 2005).

A grande variedade de resinas termoplásticas, sendo que seis representam cerca de 90% do consumo, podem ser denominados PEBD (polietileno de baixa densidade), PEAD (polietileno de alta densidade), PP (polipropileno), PS (poliestireno), PVC (policloreto de vinila) e PET (Polietileno tereftalato).

O PET é o melhor e mais resistente plástico para fabricação de garrafas e embalagens para refrigerantes, águas, sucos, isotônicos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, chapas e cabos para escova de dente (ABIPET, 2019).

O Brasil no ano de 1994 teve um consumo de 80.000 toneladas de PET, sendo que somente 18,8% foram reciclados, os demais 91,2% foram parar nos lixões, rios, lagos e matas. O consumo de PET aumentou significativamente, e o índice de reciclagem evoluiu conforme mostra a Figura 1 (ABIPET, 2019).

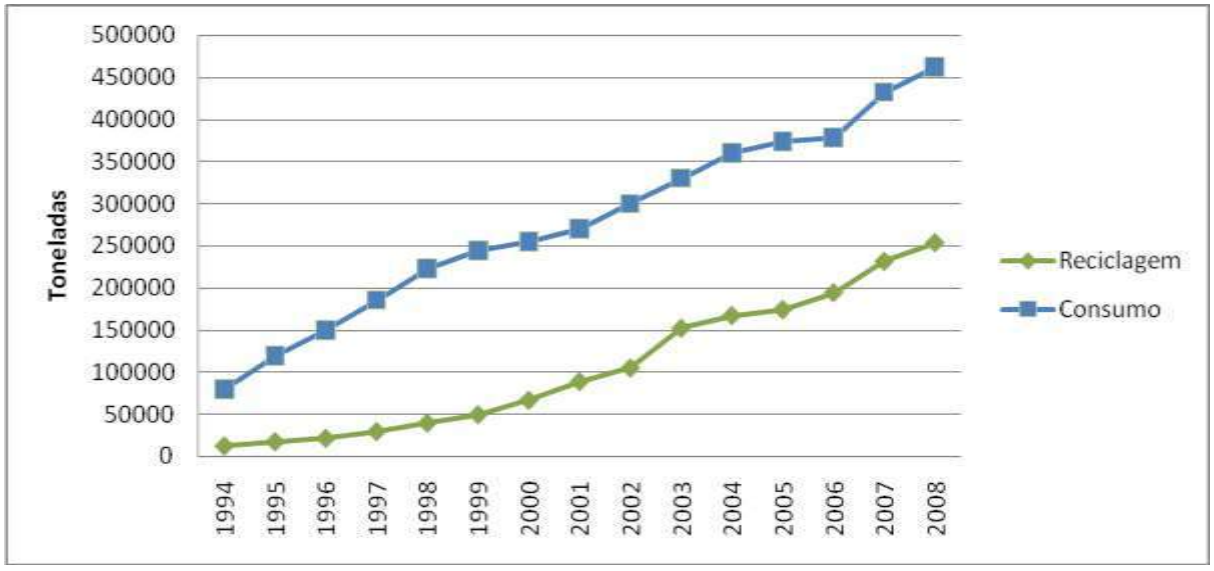



Figura 1: Gráfico da evolução de reciclagem e consumo. Fonte: ABIPET (2019).

Em 2008 o Brasil passou a reciclar 54,8% de todo PET consumido, o que equivale a 253.000 toneladas de material reciclado passando a assumir a segunda posição em reciclagem de PET, perdendo apenas para o Japão que reciclou 69,2% (TABELA 1).

| Posição | País | Índice de Reciclagem em 2008 |
|---|---|---|
| 1 | Japão | 69,2% |
| 2 | Brasil | 54,8% |
| 3 | Europa | 46% |
| 4 | Argentina | 34% |
| 5 | EUA | 27% |
| 6 | México | 12,6% |

Tabela 1: Índice de Reciclagem de PET no mundo. Fonte: CEMPRE (2008).

O RSU é depositado em lixões, gerando problemas relacionados ao material plástico proveniente das queimas inadequadas e sem controle. Já a disposição feita em aterros dificulta a compactação do plástico, e prejudica a decomposição dos materiais biologicamente degradáveis, pois criam camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquido e gases gerados no processo de biodegradação da meteria orgânica (NUNES; ALVES; FERREIRA, 2005).

## 2.1 EMBALAGENS PET

O PET – Poli (Tereftalato de Etileno) é um poliéster, polímero termoplástico. É o melhor e mais resistente plástico para fabricação de embalagens e garrafas para refrigerantes, sucos e demais. O PET proporciona alta resistência mecânica e química, e também uma excelente barreira para gases e odores (ABIPET, 2019).

A estrutura do PET é formada pela combinação dos elementos orgânicos, carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H) (Figura 2).

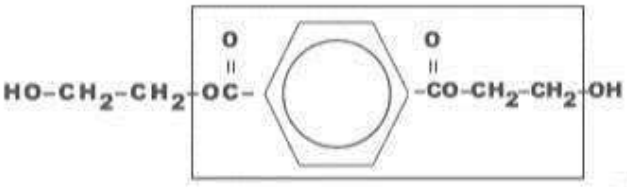



Figura 2: Estrutura do PET: Fonte: SOFTELAMBIENTAL (2010)

No inicio da década de 70 o PET começou a ser utilizado pela indústria de embalagem. O PET chegou ao Brasil em 1988 e seguiu uma trajetória semelhante ao resto do mundo, sendo utilizado primeiramente na indústria têxtil. Passou a ter forte expressão no mercado de embalagens no ano de 1993 notadamente para os refrigerantes (ABIPET, 2019).

A utilização de garrafas pet trouxe inúmeras vantagens para a sociedade, conforme mostrado no Quadro 01 abaixo:

| |
|---|
| Redução do consumo de água |
| Economia nos gastos de transporte |
| Processo de produção simples e distribuição simples |
| Acesso da população de baixa renda aos produtos |

Quadro 01: Vantagens das garrafas PET: Fonte: ABIPET (2019)

Em ABIPET (2019) a redução de água em função da utilização se dá em função da elevada quantidade de água utilizada para a limpeza das garrafas de vidro. Estima-se que seriam necessários 41 milhões de litros de água por ano, o que equivale ao consumo aproximadamente de 1 milhão de pessoas para o mesmo período.

Em função do peso das embalagens de vidro a carga de produtos neste tipo de embalagem representava 48% da carga, com a utilização de embalagem de plástico o peso das embalagens representa apenas 2% do peso da carga.

A redução do consumo de energia citado no quadro 01 se deve ao fato de que para ser produzida uma embalagem de alumínio é necessário 6 a 10 vezes mais energia do que para fabricar uma embalagem de plástico.

O processo de fabricação para as garrafas PET é simples, consequentemente seu custo é baixo, isso permite o acesso à população de baixa renda no consumo destes produtos, antes restritos somente a classe média e alta (ABIPET, 2019).

## 2.2 EMBALAGENS PET E OS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE

Alterações ambientais físicas e biológicas ao longo do tempo modificam a paisagem e comprometem ecossistemas. As alterações ambientais ocorrem por inumeráveis causas, muitas denominadas naturais e outras oriundas de intervenções antropológicas, consideradas não naturais (MUCELLIN; BELLINI, 2007).

Melhorar de firma significativa a praticidade aos consumidores com relação às embalagens. Porém em função de se tratar de itens descartáveis temos impacto ao meio ambiente.

Evoluímos significativamente o percentual de embalagens PET, porém considerando o alto volume de produção, o percentual de embalagens que são descartas de forma incorreta e correta ainda é significativo.

Os aterros sanitários são destino das embalagens, juntos com os demais resíduos sólidos, facilmente encontra-se garrafas boiando em rios e mares ou jogadas nas ruas ou praias de todo o País (KLEYZER, 2007).

Kleyzer (2007) também explica o descarte de forma aleatória causa impactos desastrosos ao meio ambiente. Para se decompor o plástico demora, em média, 400 anos. De acordo com o geógrafo Raimundo Nascimento, tanto a vida marinha quanto a terrestre são prejudicadas pelo produto. Ele explica que o lançamento do PET no solo, por exemplo, impede o crescimento de plantações. O lixo, quando não tratado adequadamente, pode ser responsável por impactos ambientais graves ao ambiente.

Para Santos (2003) os principais problemas do descarte irresponsável de lixo resultam ao espaço físico ocupado pelos rejeitos e à proliferação de doenças para parte da população que mora próxima e sobrevive da comercialização desses resíduos. Estes podem ser considerados os piores impactos do descarte aleatório das garrafas plásticas.

Contudo, atualmente grande parte dos resíduos está sendo encaminhados para os aterros. Isso ocorre por que o aterro é considerado uma alternativa relativamente barata. Mas a decisão sobre a destinação dos resíduos não deve levar em conta somente a partir da análise da viabilidade econômica. Os aterros constituem uma poluição localizada vigiada, e considerando a saturação dos aterros sanitários existentes e a dificuldade de localizar áreas para criação de mais aterros, faz-se necessário o uso de alternativas, ou seja, de um sistema de alternativas (KIPPER, 2005). As garrafas PET quando depositados em aterros acaba por prejudicar a decomposição, pois impermeabiliza certas camadas de lixo, não deixando circularem gases e líquidos.

Em Mucellin e Bellin (2007) encontra-se que entre os impactos ambientais negativos que podem ser originados a partir do lixo urbano produzido estão os efeitos decorrentes da prática de disposição inadequada de resíduos sólidos em fundos de vale, às margens de ruas ou cursos d'água. Práticas habituais podem provocar, entre outras coisas, contaminação de corpos d'água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como cães, gatos, ratos, baratas, moscas, vermes, entre outros. Some-se a isso a poluição visual, mau cheiro e contaminação do ambiente.

Em Young (2010) a solução mais comum é também a solução mais simples: depositar os resíduos de plástico em aterros para que eles passem quatro séculos a contaminar o ar e o solo até finalmente se decomporem. Obviamente que esta não é a melhor solução para lidar com o plástico depois da sua utilização.

## 2.3 PROCESSOS DE RECICLAGEM

Uma das principais formas de redução de RSU é um processo de reaproveitamento das embalagens utilizadas. Este reaproveitamento é orientado realizando a gestão de resíduos conforme é mostrado na Figura 3.

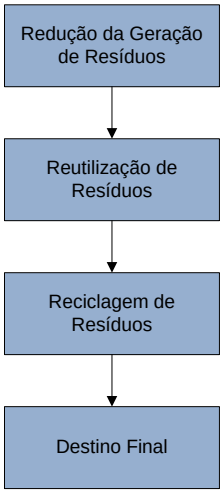



Figura 3: Gestão de Resíduos Sólidos Fonte: Mota (2006)

A Figura 3 expressa às fases do processo de degradação de uma embalagem. Considerando que a fase de redução de resíduos tenha sido esgota o melhor a se fazer é tentar reutilizar o material sem agregação de valor. CEMPRE (2001) define como reutiliza como o aproveitamento de determinado produto sem qualquer alteração física, modificando ou não o seu uso original.

Mota (2006) sugere como prática de reaproveitamento embalagens de vidro, plástico ou metálico para acondicionar outros produtos. Isso se aplica muito bem para as garrafas PET, se em cidades de pequeno e médio porte as garrafas são utilizadas para o transporte de leite. No campo é armazenada a produção de mel, feijão e sementes diversas, no uso doméstico para armazenar bebidas diversas.

A reciclagem de garrafas PET, neste artigo considerado uma etapa que se tem uma alteração física da embalagem acontece em duas parcelas: o artesanato e a reciclagem industrial. Este último contempla o maior percentual de reciclagem de garrafas PET.

O artesanato é uma excelente alternativa para reaproveitamento de garrafas PET. Contribui para o incremento de renda de famílias com baixa renda ou uma renda alternativa, além de ser uma forma expressar as habilidades e criatividade.

Possui propriedades termoplásticas, isto é, pode ser reprocessado diversas vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação. Quando aquecidos a temperaturas adequadas, esses plásticos amolecem, fundem e podem ser novamente moldados (MINEIRO, 2009).

Rolim (2010) apresenta três formas de reciclagem industrial de garrafas PET: reciclagem energética, reciclagem química e a reciclagem mecânica. O Quadro 02 conceitua os processos de reciclagem.

| | |
|---|---|
| Reciclagem Energética | A reciclagem energética consiste em recuperar a energia contida nos resíduos sólidos urbanos na forma de energia elétrica ou térmica. |
| Reciclagem Química | O polímero é despolimerizado ou degradado a produtos de baixo peso molecular. |
| Reciclagem Mecânica | Consiste na conversão física dos materiais plásticos e grânulos, que serão transformados novamente em outros produtos. |

Quadro 02: Formas de Reciclagem: Fonte: Rolim (2000)

A reciclagem energética é a reciclagem feita através do calor da queima do produto para aproveitamento energético (usinas termoelétricas), alimentação de caldeiras e altos-fornos, (ABIPET, 2019) muitas comunidades adotam por este processo, pois reduz em até 90% o volume do material destinado aos lixões e aterros sanitários, o PET tem alto poder calorífico e não exala substancias tóxicas quando queimados (SOFTELAMBIENTAL 2010).

Rolim (2010) destaca que a principal desvantagem desse tipo de reciclagem é o custo elevado das instalações, dos sistemas de controle de emissões e operacional, somado à exigência de mão-de-obra qualificada como forma de garantir o perfeito funcionamento dos equipamentos.

A reciclagem química permite a utilização de garrafas PET como matéria prima na fabricação de outros polímeros com as mesmas propriedades das resinas originais. O processo também permite a utilização de misturas de diferentes tipos de plásticos, mas tem custo muito elevado, o que explica o reduzido número de plantas em operação no mundo (ROLIM, 2010).

A reciclagem mecânica, principal tema do artigo, que consiste na conversão física dos materiais plásticos em grânulos, que serão transformados novamente em outros produtos. As etapas prévias à reciclagem mecânica dos plásticos pós-consumo são: a coleta, a separação por tipo de plástico e a retirada de rótulos, tampas e outras impurezas, moagem, lavagem, secagem, aglutinação, extrusão e granulação (ROLIM, 2010) representados na Figura 5.

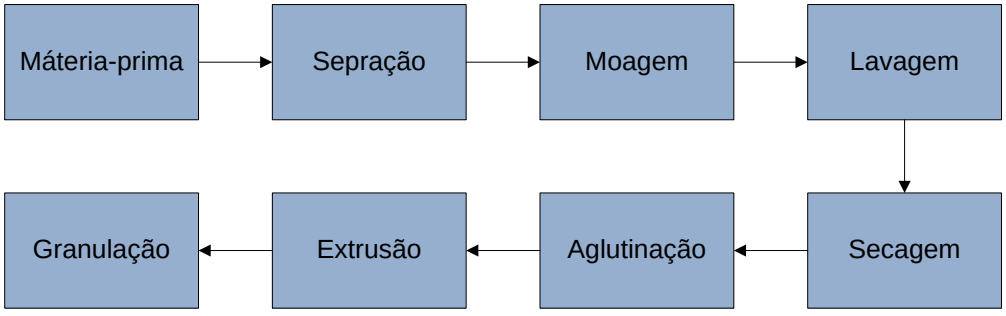



Figura 5: Etapas do processo: Fonte: Rolim (2010).

Pacheco (2010) apresenta as fases de reciclagem mecânica de forma macro:

**Etapa 1:** As embalagens são separadas por cor. A separação é necessária para que os produtos obtidos tenham uniformidade de cor, facilitando, assim sua aplicação no mercado.

**Etapa 2:** A prensagem é feita para que o transporte das embalagens seja viabilizado, pois como comentado, elas ocupam um grande volume em relação ao seu peso.

**Etapa 3:** As garrafas são moídas, lavadas e secas, ganhando valor no mercado. O produto que resulta desta fase é o floco da garrafa, comumente denominado flake. Essa etapa é conhecida como beneficiamento.

**Etapa 4:** Os flocos limpos podem ser utilizados diretamente como matéria-prima para a fabricação em diversos produtos na etapa de transformação. Nesta etapa, os flocos serão transformados em grânulos ou em um novo produto.

Os transformadores utilizam PET reciclado para fabricação de diversos produtos, inclusive novas garrafas para produtos não alimentícios.

Para o processo de trituração das garrafas PET podem ser utilizados equipamentos de grande porte, utilizados para a trituração de plásticos em geral, até equipamentos de uso doméstico, utilizados para apenas a trituração de garrafas PET. A Figura 6 ilustra alguns equipamentos utilizados no processo de trituração.



Figura 6: Equipamentos de trituração. Fonte: Fronza at all (2009).

## 3. ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso tem como objetivo fazer a análise de viabilidade de implementação de um posto de trituração de garrafas PET. Com objetivo de evitar que as mesmas sejam descartadas prematuramente e a fim de tornar a vendas dos flocos de garrafas uma atividade rentável.

Foi selecionado o método de pesquisa quantitativa como forma de pesquisa dos dados. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados de uma pesquisa de mercado realizado pelo grupo de acadêmicos do curso de engenharia mecânica, da faculdade de Horizontina – FAHOR.

A pesquisa de mercado busca conhecer a opinião do consumidor e verificar o potencial do mercado, bem como a possibilidade de conhecimento ou utilização, por parte do consumidor do produto com essa finalidade. Com o objetivo de analisar o quanto à sociedade estaria disposto a colaborar com o meio ambiente contribuindo no processo de descarte de garrafas PET, foi realizada uma pesquisa aplicada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro público entrevistado foram os consumidores de produtos armazenados em garrafas PET. Foram aplicados um questionário para 370 pessoas, sendo que 80,5% das mesmas são residentes na cidade de Horizontina, RS.

Segundo dados apresentados 82% dos entrevistados não possuem conhecimento sobre projetos de reciclagem, e aproximadamente 70% dos entrevistados demonstraram interesse em contribuir no processo de reciclagem de garrafas PET. O destino dado por 69,5% dos entrevistados para as garrafas PET é o RSU.

Após identificar o nível de conhecimento dos consumidores, identificou-se que são consumidos mensalmente em torno de 20.300 garrafas PET, sendo que 71,5% destas garrafas possuem o tamanho acima de 1,5 litros. Do volume mensal de garrafas PET consumida, 62% recebem como destino final o RSU.

O segundo público que foi entrevistado foram os empresários. Participaram 49 estabelecimentos comerciais que representou 49% da população dos estabelecimentos do município. Dos estabelecimentos, 97% não possuem conhecimento de projetos de reciclagem de garrafas PET, 49% possuem pontos de coleta.

Com relação à estratégia de mercado, 58,6% dos estabelecimentos comercias frisaram que a troca de garrafas PET por bônus pode ser um diferencial e que está atividade poderia se tornar um incremento no faturamento. Foi unânime a aprovação do projeto com relação aos benefícios ao meio ambiente com relação aos pontos de coleta de garrafas PET para após o processo de trituração. Após a pesquisa de mercado realizada foram levantadas informações com relação a preços de venda das garrafas PET e a quantidade de garrafas para termos o equivalente a 1 kg de material reciclável.

O Quadro 03 apresenta a quantidade de garrafas PET necessário para produzir 1 kg de matéria-prima. Onde separação é realizada em função da quantidade de liquido que cada embalagem armazena.

| QUANTIDADE DE GARRAFAS (PET) | CAPACIDADE DA EMBALAGEM (LT) |
|---|---|
| 16 UN | 2,5 LT |
| 20 UN | 2,0 LT |
| 24 UN | 1,5 LT |
| 26 UN | 1,0 LT |
| 36 UN | 0,6 LT |

Quadro 03: Quantidade de garrafas PET equivalente a 1kg

Há uma diferenciação de preço por quilograma de garrafa pet, o valor pago para garrafas de cor verde é R$1,20 e para branca é R$ 1,50. Esta diferença também se aplica para os flocos gerados no processo de trituração onde é pago R$1,50 para garrafas de cor verde e R$ 1,80 para garrafas brancas.

Analisando a quantidade necessária para formar um quilo de garrafa PET e o valor para este, o valor aproximado por garrafa PET é R$0, 075 a R$0, 090.

### 4.1 ANÁLISES DE VALORES

Fica claro que em função dos números extraídos à partir da pesquisa de mercado, que com o processo de coleta, motivada pelos pontos comercias pode contribuir para que o número de garrafas PET não sejam descartadas de forma prematura.

Realizando uma análise com relação à venda das garrafas PET de forma prensada ou triturada em função do valor para cada uma das modalidades, temos incremento de R$0,30 por quilograma para as garrafas PET triturado.

Temos a informação que 62% das garrafas são destinadas para o RSU de um volume mensal de 20.300 garrafas, isso representa que 12.586 garrafas seguem os caminhos dos aterros sanitários ou o descarte de forma irregular.

Com base no valor pago em média de R$1,35 para garrafas prensadas e R$1,65 para garrafas trituradas e que o principal tamanho de embalagem consumido é a de 1,5 litros, o custo por embalagem é respectivamente R$0,0675 e R$0,0825. No Quadro 04 é mostrado o valor que pode ser arrecadado considerando que seja coletado 75% das garrafas PET que como destino final seria o RSU.

| PROCESSO | QUANTIDADE DE EMBALAGEM | PREÇO R$/EMBALAGEM | TOTAL QUANT. X R$ |
|---|---|---|---|
| Prensado | 12.586 Un | R$ 0,0625 | R$ 786,63 |
| Triturado | 12.586 Un | R$ 0,0825 | R$ 1038,35 |

Quadro 04: Montante Arrecadado

O incremento no faturamento, analisando o processo de prensagem e trituração é de R$ 252,00 para um volume de 12.586 garrafas. Está diferença o grupo não considera atrativa para viabilizar a implementação de um processo de trituração. Considerando o investimento inicial do equipamento, o custo de manutenção do equipamento e a utilização de práticas de motivação aos consumidores. É necessário que seja realizado uma análise mais detalhada para a análise destes valores para chagarmos a um resultado concreto.

Em função dos dados analisado pelo grupo, considera que a prática de um processo seletivo pode vir atender de modo eficiente e principalmente viável para evitar que as garrafas PET sejam destinadas ao lixo.

Está coleta seletiva consistiria em separar as garrafas PET do restante do RSU, após ser encaminhada ao processo de prensagem e por final destinada a grandes centros de reciclagem.

## 5. CONCLUSÕES

Para que haja sustentabilidade é necessário conscientização dos consumidores e também dos governantes para termos programas de reciclagem. A pesquisa realizada na cidade de Horizontina, RS, mostra que não temos um processo de coleta seletiva e nem um processo de reciclagem de garrafas PET, pois 69,7% dos consumidores de produtos armazenados em garrafas PET destinam a embalagem para o RSU. Que representa um volume aproximado de 12.500 garrafas PET que poderiam ser reutilizadas ou recicladas, gerar renda as famílias carentes ou incremento no faturamento de estabelecimentos comercias.

Desta forma é valida a análise de viabilidade de um programa de coleta seletiva para realizar a reciclagem de garrafas PET. Com um processo de trituração localizado no município ou direcionado a outro centro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R. R., AMAZONAS, M. O lixo pode ser um tesouro: texto técnico científico. Rio de Janeiro: Secretaria da Educação, Centro Cultural, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Resíduos Sólidos – Classificação: NBR 10.004. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. História: Disponível em: http://www.abipet.org.br Acessado em 25 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. Reciclagem: Disponível em: http://www.abipet.org.br Acessado em 25 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. Publicações: Disponível em: http://www.abipet.org.br Acessado em 25 maio 2019.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM – CEMPRE. Institucional. São Paulo: 2019.

_____, Fichas técnicas. Disponível em: <http://www.cempre.org.br> Acessado em: 24 de Abr. 2010.

FRONZA, A; at all. Planejamento de máquina para triturar garrafas PET: Horizontina: Faculdade Horizontina, 2009.

KIPPER, L. Ações estratégicas sistêmicas para a rede sustentável de reciclagem de plásticos. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, p 57, Out. 2005.

KLEYZER, S. Descarte Inadequado Do Pet É Problema Para O Meio Ambiente. A tarde online Disponível em: <http://www.atarde.com.br> Acessado em: 24 Abr. 2010.

LIXO MUNICIPAL: Manual De Gerenciamento Integrado De Resíduos Sólidos José Henrique Penido Monteiro... [et al.]; Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IPT/CEMPRE, 2001.

MINEIRO, A. REVISTA ARTENSANATO: Como Reciclar Garrafas PET – Ótimas Idéias. Disponível em: <http://www.revistaartesanato.com.br> Acessado em: 24 Abr. 2010.

MOTA, S; Introdução a Engenharia Ambiental. 4ª Ed. Rio de janeiro: ABES 2006. Pagina 344 e 345.

MUCELIN, C; BELLINI, M. LIXO E IMPACTOS AMBIENTAIS PERCEPTÍVEIS NO ECOSSISTEMA URBANO. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, v. 1, n.1, p 2-3, Nov. 2007.

NUNES, J; ALVES, J; FERREIRA, O. Reciclagem De Pet: Potencial Para Aproveitamento Na Fabricação De Novos Produtos. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, Goiás, v.1, n. 1, p 4-5, fev. 2005.

O PLÁSTICO no Brasil. 1999. Revista Plásticos em Revista, v.36, n. 431, ago.

PACHECO, E. As etapas da reciclagem de PET e o ser crescimento no Brasil. Disponível em: <http://www.niead.ufrj.br> Acessado em: 21 Abr. 2010.

PACK: REVISTA PACK: A História Da Embalagem No Brasil, Evolução De Sucesso: Ed: Especial, ano 6, n. 74, Out de 2003. Disponível em: <http://www2.furg.br/> Acessado em: 21 Abr. 2010.

PRESAS, J; PRESAS, P. História da Embalagem: Uma Brevíssima Resenha do Século XX. Universidade Tuiuti do Paraná, Paraná, v. 1, n. 1, p 3, Abr. 2010.

ROLIM, S. Plástico Moderno: Prós E Contras De Reciclar Plásticos. Disponível em: <http://www.plasticomoderno.com.br> Acessado em: 24 Abr. 2010.

SANTOS, A; MANRICH, S. Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, v. 1, n. 1, p 1, Dez. 2003.

SOFTELAMBIENTAL – Pet Kids. Disponível em: <http://www.softelambiental.com.br> Acessado em 24 Abr. 2010.

YOUNG REPORTERS: O plástico: uma presença constante, um problema crescente. Disponível em: <http://www.youngreporters.org> Acessado em: 24 Abr. 2010.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são reesposáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Alimentos, Engenharia Química e Química Industrial: Processos Tecnológicos e Biotecnológicos

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EFEITO DA CONCENTRAÇÃO E ESTABILIDADE OPERACIONAL DE LIPASES COMERCIAIS DE *Candida antarctica* NA SÍNTESE DE OLEATO DE ASCORBILA

**Amanda Santa Catarina**[1]
**Karine Angélica Dalla Costa**[2]
**Maria Eduarda Wlodarkievicz**[1]
**Victor de Aguiar Pedott**[1]
**Rogério Luis Cansian**[2]
**Rogério Dallago**[2]
**Jamile Zeni**[2]
**Natalia Paroul**[2]

[1] *Departamento das Engenharias e Ciências da Computação, Graduação em Engenharia Química, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões – URI, Av. 7 de setembro, 1621, Erechim-RS*
[2] *Programa de Pós-graduação de Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões – URI, Av. 7 de setembro, 1621, Erechim-RS*

*mandysc13@gmail.com*
*karinedallacosta@hotmail.com*
*mw_eduarda@hotmail.com*
*v.a.pedott@gmail.com*
*cansian@uricer.edu.br*
*dallago@uricer.edu.br*
*jamilezeni@uricer.edu.br*
*nparoul@uricer.edu.br*

***Resumo.*** Antioxidantes quando adicionados aos alimentos controlam o processo de oxidação, bem como promovem aumento da vida útil. O ácido ascórbico é um antioxidante natural hidrofílico, sendo desta forma limitado o seu emprego em alimentos derivados de carne. Para contornar este problema o ácido ascórbico pode ser transformado em um éster via reação de esterificação enzimática com ácido orgânico de cadeia longa. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da concentração e estabilidade operacional das lipases comerciais Novozym 435 e NS 88011 na síntese enzimática de oleato de ascorbila. As reações foram conduzidas a agitação constante de 125 rpm em shaker, razão molar de 1:9 (ácido ascórbico: ácido oleico), 2 % (m/m) de peneira molecular, temperatura de 70 °C, solvente terc-butanol usando diferentes concentrações das lipases (10, 15, 20, 30 e 35 % (m/m substratos)). Dentre as concentrações de enzima testadas a de 35 % para Novozym 435 e a de 30 % para NS 88011 foram as que apresentaram maiores rendimentos (69 e 51%), respectivamente. A atividade de esterificação das enzimas é reduzida aproximadamente pela metade depois de 14º ciclo para NS 88011 e 16º ciclo para Novozym 435, indicando que as mesmas apresentam boa estabilidade operacional nas condições reacionais testadas.

***Keywords:*** *ácido ascórbico, esterificação, Novozym 435, NS 88011*

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos processados e congelados aumentou muito nos últimos anos devido às necessidades impostas pela vida moderna, onde o tempo de preparo doméstico dos alimentos é um fator limitante. Contudo, alterações químicas tal como a oxidação lipídica tem interferido na aceitabilidade dos consumidores, causando não apenas perdas nutricionais de qualidade, mas também gerando compostos indesejáveis, e até mesmo potencialmente prejudiciais à saúde humana.

O uso de antioxidantes é uma alternativa para prevenir ou retardar a deterioração oxidativa dos alimentos e minimizar os danos oxidativos nos seres vivos. Encontrar um antioxidante natural que apresente eficácia equivalente a um antioxidante sintético é de grande importância para saúde humana, pois alguns antioxidantes sintéticos possuem substâncias carcinogênicas.

Entre os antioxidantes naturais utilizados industrialmente destaca-se o ácido ascórbico, conhecido como Vitamina C. É um composto orgânico, altamente hidrofílico, muito utilizado em uma gama de produtos alimentares, bebidas, formulações farmacêuticas e cosméticos devido a suas propriedades. Em indústrias de processamento de alimentos é largamente utilizado como antioxidante para evitar mudanças de cor, sabor e odor dos produtos (Pardakhty *et al.*, 2016). Entretanto, por ser hidrofílico, o emprego do ácido ascórbico em alguns produtos alimentícios é limitado. Uma das formas de alterar sua solubilidade é através da esterificação com ácidos graxos, como o ácido oleico, para formar oleato de ascorbila. Segundo Watanabe *et al.* (2001), os ascorbil ésteres são compostos anfifílicos que mantêm propriedades antioxidantes do ácido ascórbico, ou seja, quando incorporados em alimentos mantem a proteção (similar ao ácido ascórbico) contra os danos oxidativos por radicais livres (Ross *et al*., 1999).

A biocatálise aplicada na produção de ésteres de ácido ascórbico é uma alternativa ligada a *Green chemistry*, útil e promissora que foi eleita como uma das principais áreas de pesquisas emergentes para a manufatura sustentável (Sá *et al*, 2017; Souza *et al*., 2017). Quando comparado à um processo químico tradicional, os processos enzimáticos são altamente eficientes e enantiosseletivos, geralmente reduzem o tempo de processo, o número de etapas e os resíduos gerados, além de ganhos energéticos já que as reações ocorrem as temperaturas bem mais amenas (Wohlgemuth, 2010; Choi, Han e Kim; 2015).

Contudo, um dos maiores problemas é o custo da enzima, por este motivo é importante obter taxas de conversão altas utilizando a menor quantidade de enzima possível, além disso, é importante também avaliar as possibilidades do reuso das enzimas. Dado o exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da concentração e estabilidade operacional das lipases comerciais Novozym 435 e NS 88011 na síntese enzimática de oleato de ascorbila.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho como substratos: ácido L-ascórbico (Química Moderna) ácido oleico (97% de pureza - SIGMA-ALDRICH), *terc* - Butanol (P.A. Merck), peneiras moleculares 4Å (SIGMA-ALDRICH) e como biocatalisadores duas lipases comerciais de *Candida antarctica*, a Novozym 435 e a NS 88011 as quais foram imobilizadas em resina acrílica macro porosa e resina polimérica hidrofóbica, respectivamente.

### 2.1 Efeito da concentração de lipases

Visando a redução da concentração da enzima, foram testadas diferentes concentrações 10, 15, 20, 30 e 35 % (m/m substratos) das lipases Novozym 435 e NS 88011. A escolha das condições reacionais foi baseada em dados descritos na literatura por Chang *et al*. (2009), Zhao *et al*. (2011) e Burham *et al*. (2009), sendo razão molar dos substratos (1:9 de ácido ascórbico: ácido oleico), temperatura de 70 ºC, 2 % (m/m) de peneira molecular (4Å Sigma-Aldrich), agitação constante em Shaker de 125 rpm e solvente terc-butanol.

A produção de oleato de ascorbila em função do tempo foi avaliada por Cromatografia Líquida de Alta eficiência (CLAE-Agilent 1100 series), equipado com detector UV-vis. Os seguintes acessórios e condições foram usados: coluna de fase reversa (C18, 250 × 4,6 mm, 0,5 μm), vazão de 1,0 mL $min^{-1}$, fase móvel metanol/água/ácido acético (95:5:0,1 v/v/v), o volume de injeção de 1,0 μL e detecção de UV no comprimento de onda de 254 nm. A curva de calibração foi construída com as concentrações de ácido ascórbico de 20 a 200 μg $L^{-1}$. A conversão da reação foi calculada com base na diminuição da área do substrato limitante (ácido ascórbico) e uma reação estequiométrica.

### 2.2 Estabilidade operacional das enzimas

Os experimentos realizados para determinar a estabilidade operacional das enzimas NS 88011 e Novozym 435 na reação de produção de oleato de ascorbila, foram conduzidos a agitação constante de 125 rpm em shaker (Servilab SE 1208), razão molar de 1:9 (ácido ascórbico: ácido oleico), 2 % (m/m) de peneira molecular, temperatura de 70 °C, solvente terc-butanol e concentração de enzima que obteve maior produção de oleato de ascorbila.

Após o término da reação, as enzimas foram separadas por filtração convencional (filtro qualitativo 80x80 prolab), lavadas duas vezes com 10 mL de n-hexano e filtradas à vácuo (Ls loger, modelo 1314). Este procedimento é uma variação do método descrito por Castro e Anderson (1995). Para a retirada total do solvente as enzimas foram mantidas por 30 min em estufa a 50 °C e 24 h em dessecador. Após, as enzimas foram reutilizadas em uma nova batelada. Esse processo foi realizado até a enzima perder 50 % da sua atividade inicial de esterificação (atividade residual).

A atividade de esterificação das lipases foi determinada através da reação de síntese do oleato de etila (ácido oleico: etanol (1:1) (v/v)). A metodologia apresentada é uma modificação da descrita por Ferraz *et al*. (2012). Realizou-se o ensaio em branco (sem enzima), para determinar a acidez do meio reacional, em seguida foi realizada a adição da enzima (aproximadamente 0,1 g) no meio reacional. A reação foi conduzida em frascos de vidro fechados e mantidos em agitador orbital (New Brunswich, modelo Excella E25R) a 160 rpm, 40 °C e 40 min. Após, alíquotas de 500 μL foram retiradas do meio reacional e adicionados 15 mL de uma solução de acetona-etanol (1:1) (v/v), para paralisar a reação. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

A quantidade de ácido consumida foi determinada por titulação com hidróxido de sódio (NaOH) 0,05 M. Uma unidade de atividade enzimática foi definida como a quantidade de ácido oleico (em μmol) convertido para grama de enzima por minuto, nas condições do ensaio. A atividade enzimática foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$AE = \frac{(Vb - Va) * M * 1000 * Vf}{t * Mel * Vc}$$

Equação (1)

Onde:
AE: atividade de esterificação ($U.g^{-1}$);
Va: volume de NaOH gasto na titulação da amostra retirada após 40 min (mL);
Vb: volume de NaOH gasto na titulação da amostra retirada no tempo zero (mL);
M: molaridade da solução de NaOH;
Vf: volume final de meio reacional (mL);
t: tempo (min);
Mel: massa da preparação enzimática utilizada na reação (g);
Vc: volume da alíquota do meio reacional retirada para titulação (mL).

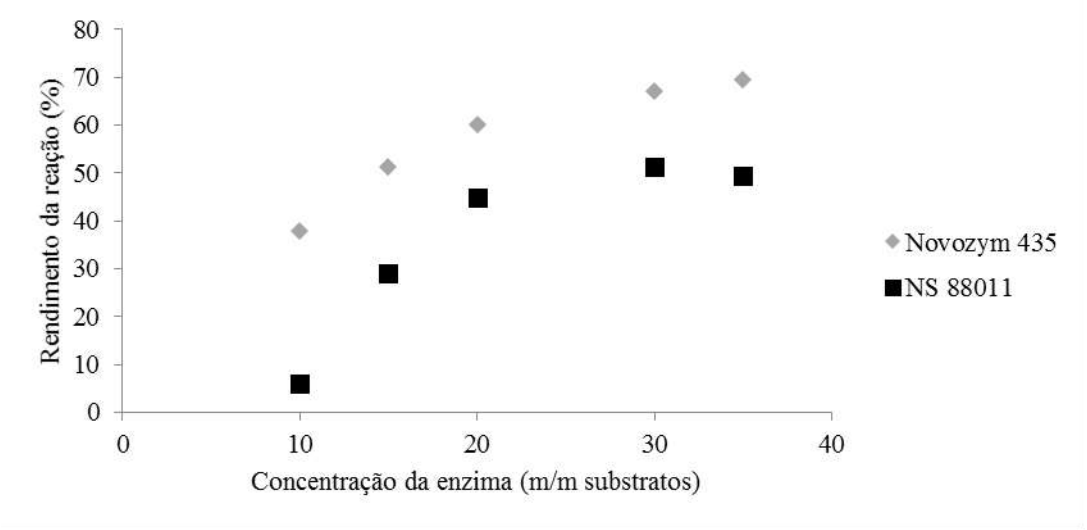
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Efeito da concentração das lipases

A Figura 1 apresenta os resultados de conversão em oleato de ascorbila obtidos em diferentes concentrações das lipases Novozym 435 e NS 88011, usando razão molar ácido ascórbico: ácido oleico 1:9, temperatura 70 ºC, 2 % de peneira molecular, solvente terc-butanol e agitação constante em shaker a 125 rpm por 1h30min. Observa-se que a Novozym 435 apresentou rendimentos superiores em todas as concentrações testadas quando comparada a NS 88011, atingindo conversão máxima para Novozym 435 com 35 % (m/m substratos) e NS 88011 com 30 % (m/m substratos) de enzima, apresentando rendimentos de 69 % e 51 %, respectivamente. Para confirmar a ação catalítica das lipases foi realizada uma reação de esterificação nas mesmas condições, mas sem uso

de biocatalizador. Neste teste, nenhum consumo de substrato foi observado, indicando que não houve conversão em produto.

Figura 1 - Rendimento de produção de oleato de ascorbila em função da concentração das lipases Novozym 435 e NS 88011.




A Figura 1 apresenta os resultados de conversão em oleato de ascorbila obtidos em diferentes concentrações das lipases Novozym 435 e NS 88011, usando razão molar ácido ascórbico: ácido oleico 1:9, temperatura 70 ºC, 2 % de peneira molecular, solvente terc-butanol e agitação constante em shaker a 125 rpm por 1h30min. Observa-se que a Novozym 435 apresentou rendimentos superiores em todas as concentrações testadas quando comparada a NS 88011, atingindo conversão máxima para Novozym 435 com 35 % (m/m substratos) e NS 88011 com 30 % (m/m substratos) de enzima, apresentando rendimentos de 69 % e 51 %, respectivamente. Para confirmar a ação catalítica das lipases foi realizada uma reação de esterificação nas mesmas condições, mas sem uso de biocatalizador. Neste teste, nenhum consumo de substrato foi observado, indicando que não houve conversão em produto.

Além disso, observa-se que houve um aumento do rendimento da reação proporcional ao aumento da concentração da enzima, isso é possível, pois o aumento da quantidade de enzima favorece o aumento da velocidade da reação (Rodrigues, 2009). Entretanto, foi observada uma diminuição no rendimento da reação da concentração de 35 % quando comparado a 30 %, utilizando a NS 88011, isto pode ser devido a uma concentração muito elevada de enzima que dificulta a suspensão uniforme dos biocatalisadores, conduzindo à inativação da enzima (Wei *et al*., 2003), além disso, o excesso da enzima no meio pode provocar uma agregação das partículas das enzimas imobilizadas, diminuindo a exposição do sítio ativo aos substratos, e isto conduz a diminuição do rendimento.

Chang *et al*. (2009) em seus estudos de otimização para a produção de ascorbil laureato observaram rendimento máximo de 93,2 % com tempo de reação de 6,7 h, temperatura 30,6 ºC, razão molar 1:4,3, com 34,5 % de Novozym 435, quantidade de enzima semelhante a reportada neste estudo.

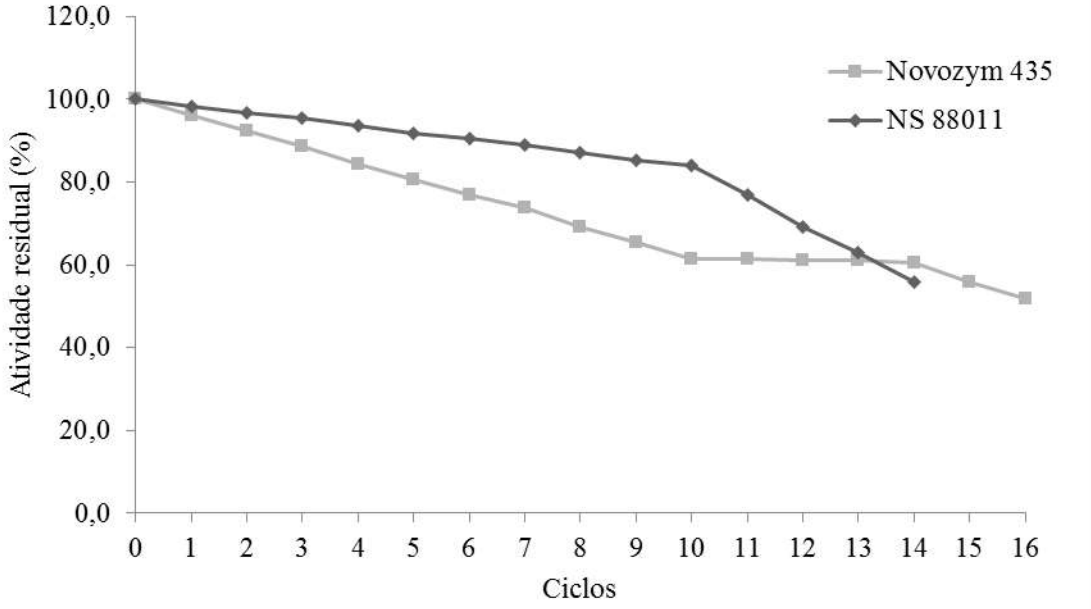
Além da importância de obter taxas de conversão altas utilizando a menor quantidade de enzima possível, é importante também avaliar as possibilidades do reuso das enzimas.

### 3.2 Estabilidade operacional da enzima

A utilização de catalisadores imobilizados possui vantagens devido a facilidade de separação do meio reacional, possibilitando a reutilização em uma nova reação podendo vir a redução de custos.

Por este motivo é importante investigar a possibilidade de reuso da enzima. Deste modo, foram realizadas reações para cada lipase nas melhores condições obtidas neste estudo. A temperatura reacional utilizada foi de 70 ºC, razão molar 1:9 (ácido ascórbico: ácido oleico), solvente terc-butanol, 1h30min de reação em shaker a 125 rpm, sendo utilizado 30 e 35 % de enzima (NS 88011 e Novozym 435, respectivamente). Após a reação, a enzima foi filtrada e lavada com n-hexano para remoção de qualquer substância residual, para então ser reutilizada na próxima reação (ciclo). Os resultados estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Atividades residuais das lipases NS 88011 e Novozym 435 depois de cada ciclo reacional




*Cada ciclo corresponde a 1h30min de reação.

Os resultados demonstram que a atividade de esterificação das enzimas é reduzida aproximadamente pela metade nos 14º e 16º ciclos para NS 88011 e Novozym 435, respectivamente, indicando que as mesmas podem ser reutilizadas muitas vezes, sendo este um fator importante. Deste modo, pode-se ressaltar que as lipases utilizadas possuem boa estabilidade operacional nas condições reacionais deste estudo para a síntese de oleato de ascorbila.

Em ensaios realizados anteriormente para verificar o efeito do solvente sobre a atividade enzimática foi observado que a Novozym 435 demonstrou redução da atividade em 50 % em 24 h de reação, o que coincide aproximadamente com os resultados obtidos neste item, devido ao 16º ciclo corresponder a 22h10min de reação, indicando a influência direta do terc-butanol na atividade enzimática.

Balen *et al*. (2015) em reações testadas a 60 e 70 °C, razão molar 1:9 (ácido ascórbico:ácido oleico); 5 % de Novozym 435; 2 mL de terc-butanol, 2 h com irradiação de micro-ondas observaram que no terceiro ciclo de uso a enzima Novozym 435 diminuiu drasticamente o valor da conversão do oleato de ascorbila (redução em aproximadamente 5 vezes no primeiro ciclo).

Além disso, vale ressaltar que a lipase NS 88011 apresentou maior estabilidade nos primeiros ciclos de reuso devido a redução da atividade de esterificação dela ser menor, quando comparado a Novozym 435, ou seja, a NS 88011 demonstrou ser menos afetada nas primeiras horas pelas condições reacionais usadas em nosso trabalho, indicando seu potencial de aplicação em reações de esterificação.

Ao mesmo tempo, é importante analisar a viabilidade econômica da aplicação de ambas as enzimas lipolíticas. A principal desvantagem no uso industrial da Novozym 435 está associada ao

alto custo de aquisição. Em vista disso, o desenvolvimento de suportes economicamente viáveis abre novas possibilidades de aplicações principalmente em escala industrial, que é a vantagem da NS 88011, imobilizada com material de baixo custo, formulada pela Novozymes (Cipolatti *et al*., 2014; Polloni *et al*., 2018).

## 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se observar a influência da concentração de enzima no sistema reacional para a obtenção do éster, apresentando conversão máxima de 69 % e 51 % para Novozym 435 com 35 % (m/m substratos) e NS 88011 com 30 % (m/m substratos), respectivamente.

Ambas as lipases demonstraram ter ótima estabilidade operacional, já que apresentaram em torno de 15 ciclos de reuso para atingir atividade residual de 50 %, destacando a lipase NS 88011 devido ser menos afetada nas primeiras horas pelas condições reacionais utilizadas.

Ao mesmo tempo, é importante analisar a viabilidade econômica da aplicação de ambas as enzimas. Os biocatalisadores usados neste estudo possuem diferença no custo, sendo a NS 88011 uma preparação enzimática imobilizada em custo inferior. Devido a este fator e seu potencial observado nesta reação de esterificação, o emprego da NS 88011 pode ser interessante em escala industrial.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e URI pela concessão de bolsas e/ou apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balen, M.; Silveira, C.; Kratz, J. M.; Simões, C. M.; Valério, A.; Ninow, J.; Nandi, L. G.; Diluccio, M.; De Oliveira, D., 2015. "Novozyms 435 catalyzed production of ascorbyl oleate in organic solvente ultrasound-assisted system". *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 4, p. 514–520.

Burham, H.; Rasheed, R. A. G. A.; Noor, N. M.; Badruddin, S.; Sider, H., 2009. "Enzymatic synthesis of palm-based ascorbyl esters". *Journal of molecular catalysis B: enzymatic*, v.58, p. 153-157.

Castro, H.F.; Mendes, A.A.; Santos, J.C., 2004. "Modificação de óleos e gorduras por biotransformação". *Química Nova*, v. 27, p. 146-156.

Chang, S.W.; Yang, C. J.; Chen, F.Y.; Akoh, C. C.; Shieh, C. J., 2009. "Optimized synthesis of lipase-catalyzed l-ascorbyl laurate by Novozym® 435". *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v.56, n.1, p.7-12.

Choi, J. M.; Han, S. S.; Kim, H. S. "Industrial applications of enzyme biocatalysis: Current status and future aspects". *Biotechnology Advances*, v. 33, p. 1443-1454, 2015.

Cipolatti, E. P.; Silva, M. J. A.; Klein, M.; Feddern, V.; Feltes, M. M. C.; Oliveira, J. V.; Ninow, J. L.; Oliveira, D. "Current status and trends in enzymatic nanoimmobilization". *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v.99, p.56-67, 2014.

Ferraz, L. R.; Santos, D. O.; Silva, M. F.; Rigo, E.; Luccio, M. D.; Oliveira, J. V.; Oliveira, D.; Treichel, H. "Production and partial characterization of multifunctional lipases by Sporobolomyces ruberrimus using soybean meal, rice meal and sugarcane bagasse as substrates". *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 1, p. 243-252, 2012.

Pardakhty, A; Ahmadzadeh, S.; Avazpour, S.; Gupta, V. K., 2016. "Highly sensitive and efficient voltammetric determination of ascorbic acid in food and pharmaceutical samples from

aqueous solutions based on nanostructure carbon paste electrode as a sensor". *Journal of Molecular Liquids*, v. 216, p. 387–391.

Polloni, A. E.; Chiaradia, V.; Figura, E. M.; Paolli, J. P. DE; Oliveira, D. DE; Oliveira, J. V. DE; Araújo, P. H. H. DE; Sayer, C. "Poliésteres de Macrolactonas Usando Lipase Comercial NS 88011 e Novozym 435 como Biocatalisantes". *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 184, p. 659-672, 2018.

Rodrigues, R. C. *Síntese de biodiesel através de transesterificação enzimática dos óleos vegetais catalisada por lipase imobilizada por ligação covalente multipontual.* 2009. 183 f. Tese (Doutorado em engenharia química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Ross, D.; Mendiratta, S.; Qu, Z. C.; Cobb, C. E.; May, J. "Ascorbate 6-palmitate protects human erythrocytes from oxidative damage". *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, p. 81-89, 1999.

Sá, A. G. A.; Meneses, A. C.; Araújo, P. H. H.; Oliveira, D. "A review on enzymatic synthesis of aromatic esters used as flavor ingredients for food, cosmetics and pharmaceuticals industries". *Trends in Food Science e Technology*, v. 69, p. 95-105, 2017.

Souza, S. P.; Almeida, R. A. D.; Garcia, G. G.; Leão, R. A. C.; Bassut, J.; Souza, R. O. M. A.; Itabaina Jr, I. "Immobilization of lipase B from Candida antarctica on epoxy- functionalized silica: characterization and improving biocatalytic parameters". *Chemical Technology and Biotechnology*, v. 93, p. 105-111, 2017.

Watanabe, Y.; Adachi, S.; Fujii, T.; Nakanishi, K.; Matsuno, R., 2001. "Surface Activity of 6-*O*-Hexanoyl, Octanoyl, Decanoyl and Dodecanoyl Ascorbates". *Japan Journal of Food Engineering*, v. 2, n. 2, p. 73-75.

Wei, D.; Gu, C.; Song, Q.; Su, W. "Enzymatic esterification for glycoside lactate synthesis in organic solvent". *Enzyme and Microbial Technology*, v. 33, p. 508-512, 2003.

Wohlgemuth, R. "Biocatalysis – key to sustainable industrial chemistry". *Current Opinion in Biotechnology*, v. 21, p. 713–24, 2010.

Zhao, H.; Zhang, Y.; Lu, F.; Bie, X.; Lu, Z.; Ning, H. "Optimized enzymatic synthesis of ascorbyl esters from lard using Novozym 435 in co-solvent mixtures". *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 69, p. 107–111, 2011.

## 7. COMUNICAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são responsáveis pelo material impresso incluídos neste papel.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO QUANTITATIVO E QUALITATIVO DAS AVEIAS BRANCA E PRETA

**Amito José Teixeira**
**Antonio Sergio do Amaral**
**Paulo Sérgio Gomes da Rocha**
**Ricardo Felipe Zambiasi**
**John Edson Chiodi**
**Jardes Bragagnolo**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
e-mails: amito@uricer.edu.br; asamaral@uriecer.edu.br; rocha@uricer.edu.br; ricardo_zambiasi@hotmail.com, johnchiodi@gmail.com, jardes@uricer.edu.br

**Resumo:** *As pastagens podem produzir grandes quantidades de matéria seca digestível por área se forem tratadas como culturas e manejadas corretamente. Existem poucas regiões do mundo em que agricultores podem ser bem sucedidos em um planejamento forrageiro a pasto durante o ano todo. Entre elas inclui-se praticamente todo o Rio Grande do Sul e grande parte da região Sul do Brasil. A cultura da aveia é uma das principais opções para cultivo na estação fria, especialmente no centro-sul do Brasil, sendo alternativa técnica e economicamente viável de cultivo, no período de outono, inverno e primavera. A pesquisa foi realizada visando obter soluções viáveis aos produtores rurais da região do Alto Uruguai Gaúcho que na sua grande maioria são enquadrados como agricultores familiares. Avaliou-se a produção de Matéria Verde, Seca e Proteína Bruta das aveias preta e branca. Os resultados obtidos permitem concluir que a aveia preta, possuir os maiores níveis de PB, MS e MV, pode ser apontada como uma das forrageiras de inverno a ser utilizada, a fim de diminuir o período crítico com déficit de forragem nas estações frias do ano.*

***Palavras chave:*** *Pastagem, gramínea, adubação.*

## 1. INTRODUÇÃO

As pastagens podem produzir grandes quantidades de matéria seca digestível por área se forem tratadas como culturas e manejadas corretamente. O objetivo de um bom sistema de pastejo é prover os animais com suprimento diário de forragem de boa qualidade, capaz de atender os seus requisitos nutricionais de forma econômica.

No Brasil, ocorre produção satisfatória de forragem baseada em forrageiras estivais no período de primavera-verão e um período crítico com déficit de forragem em decorrência de períodos frios ou secos durante o outono/inverno, os quais limitam o crescimento das pastagens e, consequentemente, o rendimento animal (MORAES, 1994).

Existem poucas regiões do mundo em que agricultores podem ser bem sucedidos em um planejamento forrageiro a pasto durante o ano todo. Entre elas inclui-se praticamente todo o Rio Grande do Sul e grande parte da região Sul do Brasil. Nessa região é possível desde a utilização das pastagens naturais até as mais variadas espécies tropicais e temperadas cultivadas nas principais regiões produtoras de leite do mundo (SANTOS et al., 2011).

A aveia é uma gramínea anual pertencente à família *Poaceae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*. Tal gênero compreende várias espécies silvestres, daninhas e cultivadas distribuídas em seis continentes (GUTKOSKI E PEDÓ, 2000). As principais espécies cultivadas no país são a aveia branca (*Avena sativa* L.), a aveia amarela (*Avena byzantina* C. Koch), espécies de duplo propósito com produção de forragem e grãos, e a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) empregada como pastagem, de forma isolada ou em consorciação com outras forrageiras, e como adubo verde (MATZENBACHER, 1999). A cultura da aveia é uma das principais opções para cultivo na estação fria, especialmente no centro-sul do Brasil, sendo alternativa técnica e economicamente viável de cultivo, no período de outono, inverno e primavera. Além das aplicações como forrageira, destina-se à produção de grãos e, ainda, pode ser utilizada como cobertura verde, para proteção do solo. De acordo com FLOSS & RADIN (2007), algumas cultivares de aveia branca (A. sativa L.) podem ser utilizados para produção de forragem e posterior colheita de grãos no rebrote.

Assim, é importante realizar-se pesquisas a fim de obter novos dados ou resultados para apresentar soluções viáveis aos produtores rurais da região do Alto Uruguai Gaúcho que na sua grande maioria são enquadrados como Agricultores familiares. Vale também ressaltar que grande parte da receita bruta das propriedades vem da atividade

leiteira, então essa deve ser conduzida da melhor maneira possível, tendo o uso, produtividade e manejo das pastagens, influência direta no sucesso da atividade.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar duas aveias implantadas em área de lavoura na região do Alto Uruguai gaúcho a fim de mensurar a produção de matéria verde, matéria seca e proteína bruta, e reduzir o período de déficit de pasto na entressafra das pastagens, contribuindo desta forma para uma melhor eficiência técnica e econômica da atividade leiteira.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nas dependências do CAMPUS II da URI, no município de Erechim. O experimento foi conduzido durante o período de abril a junho de 2019.

Em meados de março foi escolhida a área onde o experimento foi implantado. Historicamente a área onde o experimento foi conduzido, vem sendo conduzida com culturas anuais de verão (soja e milho) e cobertura de inverno (aveia, ervilhaca, etc..).

Como critério de escolha preponderou à ideia de escolher um local com pouca declividade, a fim de facilitar as operações realizadas durante a execução do projeto e que representasse com fidelidade um local que vem sendo manejado com lavouras de verão (soja).

A área experimental constituiu-se de oito parcelas, cada uma com $4m^2$ (2x2). O delineamento foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos e 4 repetições. A demarcação foi feita com estacas nas extremidades das parcelas.

Após a delimitação das parcelas, no dia 04 de abril de 2019 foi realizada a semeadura das forrageiras. A semeadura foi realizada de forma manual, na densidade de 100 kg $ha^{-1}$ com espaçamento entre linhas de 17 cm. A adubação química foi procedida na semeadura utilizando-se 100 kg de NPK da fórmula 5 20 20.

Transcorridos 25 dias após a semeadura, as parcelas receberam uma dose de ureia (45% de N) de 200 $kg.ha^{-1}$. A aplicação foi realizada em cobertura, de forma manual e distribuída uniformemente na superfície das parcelas.

É importante ressaltar que o tempo da semeadura até o primeiro corte ou pastejo é extremamente valioso, e que determina na maioria das vezes o futuro desempenho animal na forragem (Tonetto, 2009). No presente experimento, o primeiro corte foi realizado 61 dias após a semeadura, dia 04 de junho, onde os materiais atingiram uma altura de dossel desejada visando obter o rendimento de matéria verde (MV), determinar a matéria seca (MS) e a proteína bruta (PB).

Foi efetuado o corte na região central de cada parcela, usando-se um quadrado de 1 metro de lado para delimitar a área. O material existente no local foi coletado e armazenado em sacos plásticos devidamente identificados e posteriormente pesados, a fim de determinar a matéria verde por m². O corte do material foi realizado com o auxilio de uma tesoura manual. As aveias foram cortadas quando atingiram a altura média de 30 cm, rebaixando-se toda a parcela a uma altura de 10 cm do solo, com objetivo de deixar um resíduo de forma a garantir o rebrote da pastagem.

Uma amostra de 100g de cada parcela foi coletada e encaminhada para determinação da MS. A pré-secagem foi feita em estufa com ar forçado à temperatura de 60 ± 5°C, por 72 horas, a fim de evitar perdas por volatilização ou alteração de outros nutrientes principalmente compostos.

Na seguinte etapa denominada de definitiva, o material permaneceu a temperatura média de secagem de 105 ± 1°C por quatro horas (Rodrigues, 2010).

Para a análise de PB, foram encaminhadas amostras dos tratamentos ao laboratório de Bromatologia do CEPA (Centro de Pesquisa em Alimentação) da UPF, com a finalidade de serem feitas as avaliações de Proteína Bruta.

As produções estabelecidas para a variável matéria verde (MV) foram obtidas através da coleta do material de 1 $m^2$ do centro de cada parcela.

As produções alcançadas para a variável Matéria Seca (MS) foram obtidas através da secagem de amostras de peso conhecido, da MV, em estufa a temperatura de 60 ± 5°C por 72 horas e depois á temperatura média de 105 ± 1°C por aproximadamente quatro horas até a obtenção de peso constante.

As produções alcançadas para a variável Proteína Bruta (PB) foram obtidas através das análises bromatológicas das amostras em base seca (b.s.), realizadas no laboratório de Bromatologia do CEPA (Centro de Pesquisa em Alimentação) da Universidade de Passo Fundo (UPF).

Todos os valores de matéria verde (MV), matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) obtidos em 1 $m^2$ foram extrapolados para 1 hectare.

Procedeu-se a análise de variância, com a aplicação do teste de médias Tukey 5% para diferenciação entre os tratamentos dos atributos avaliados, fazendo uso do programa estatístico Statistica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão discriminados considerando a variável resposta estabelecida.

### 4.1 VARIÁVEL RESPOSTA MATÉRIA VERDE (MV)

Verificou-se diferenças significativas (P < 0,05) para a MV, sendo que o resultado da aveia preta foi significativamente superior à aveia branca, através do teste de Tukey a 5%.

De acordo com a análise das variâncias, obteve-se efeito significativo do fator cultivar para a variável matéria verde.

Em relação a variável massa verde (MV), pode-se observar na tabela 1 que a maior média (8946,67 Kg. $ha^{-1}$) foi obtida com a aveia preta.

Tabela 1 – Massa verde (MV) produzida pelas aveias (Aveia preta e Aveia Branca).

| **Material** | **Matéria Verde (MV) em Kg $ha^{-1}$** |
|---|---|
| Aveia Preta | 8946,67 a |
| Aveia Branca | 7423,33 b |

CV% = 7,70

### 4.2 VARIÁVEL RESPOSTA MATÉRIA SECA (MS)

Foram observadas diferenças significativas (P<0,05) para a MS, sendo que a aveia preta foi significativamente superior à aveia branca, através do teste de Tukey a 5%.

Tabela 2 – Matéria Seca (MS) produzida pelas aveias (Aveia preta e Aveia Branca).

| **Material** | **Matéria Seca (MS) em Kg $ha^{-1}$** |
|---|---|
| Aveia Preta | 1610,40 (18%) a |
| Aveia Branca | 1410,43 (19%) b |

CV% = 10,61

### 4.3 VARIÁVEL RESPOSTA PROTEÍNA BRUTA (PB)

Foram verificadas diferenças significativas (P < 0,05) para a PB, sendo que a aveia preta foi significativamente superior à aveia branca, através do teste de Tukey a 5%.

Tabela 3 – Resultados do teste de análise múltipla de médias para a Proteína Bruta (PB) em função do material avaliado (Aveia preta e Aveia Branca), através do teste de Tukey a 5% de significância.

| **Material** | **Proteína Bruta (PB) em Kg $ha^{-1}$** |
|---|---|
| Aveia Preta | 257,66 (16,5%) a |
| Aveia Branca | 210,15 (14,9%) b |

CV = 5,71%

De acordo com o experimento realizado por Machado (2000), os genótipos FAPA 2 e IA 96101b, ambos de ciclo tardio, destacaram-se das demais com uma produção média de 2.871 e 2866 kg $ha^{-1}$ de matéria seca,

respectivamente. Em nosso experimento ao final de 60 dias obteve-se, para a aveia preta, uma massa verde (foliar) de 8946,67 kg $ha^{-1}$. Já a matéria seca foi de 1610,40 kg $ha^{-1}$, valores observados apenas no primeiro corte.

Com os valores observados de MV, MS e PB para a aveia preta, a mesma pode ser considerada uma ótima alternativa para alimentação dos bovinos no período de inverno. Ainda que a avaliação tenha sido realizada apenas no primeiro corte, pode-se verificar um satisfatório rendimento de MV, MS e PB da aveia preta ao comparar com a aveia branca.

Segundo Crowder et al. (1967) a aveia adapta-se bem a regiões tropicais, temperadas e frias, sendo mais indicada para altitudes de 1000 a 3000 m, podendo-se obter dois ou mais cortes por ano, dependendo da disponibilidade de água no solo. Valores observados também por Martinello (2009) nos mostram que é possível obter no máximo até quatro cortes com produções satisfatórias durante o ciclo da aveia. Outra vantagem é que as aveias são materiais mais precoces atendendo o déficit de alimentos já instalado no final do outono e início do inverno.

A forragem de Aveia caracteriza-se pelo seu alto conteúdo de proteína bruta e baixos teores de componentes da fração fibrosa (Gallo, 1991). Reis et al. (2002), avaliando cultivares de aveia branca e aveia preta comum, triticale e seus consórcios, obtiveram para PB (16,3 a 19,9%) nos cortes realizados em junho, tendo ocorrido queda nos cortes seguintes.

Por possuir os maiores níveis de PB, MS e MV no presente trabalho, a aveia preta pode ser apontada como uma das forrageiras de inverno a ser utilizada, a fim de diminuir o período crítico com déficit de forragem nas estações frias do ano.

## 5. CONCLUSÕES

As forrageiras de inverno utilizadas neste estudo são alternativas potenciais para suplementação dos animais durante o período crítico de déficit de forragem nas estações frias do ano.

A aveia preta apresentou os melhores resultados de Massa Verde, Massa Seca e Proteína Bruta.

Os resultados obtidos neste experimento são satisfatórios e asseveram a aveia preta como sendo uma importante forrageira de inverno, trazendo melhorias na quantidade e qualidade da alimentação do rebanho bovino leiteiro na região do Alto Uruguai gaúcho.

## 6. REFERÊNCIAS

CROWDER, L. V.; LOTERO, J.; FRANSEN, J.; KRUK, C. F. Oats forage production in cool tropics as represented by Colombia. Agronomy Journal, v. 59, n.l, p. 80-2, 1967.

FLOSS, E.L.; RADIN, B. Resposta de cultivares de aveia a épocas de semeadura e densidades de plantas em Passo Fundo, 1995. In: REUNIÃO DA COMISSÃO SULBRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 16; 1996, Florianópolis - SC. Resultados Experimentais. Florianópolis: UFSC, 1996. p. 310 - 320.

GALLO, C. H. (1991) Avaliação da aveia preta (avena strigosa screb) e de cultivares de aveia amarela (Avena bizanthina Koch) sob diferentes sistemas de manejo. Jaboticabal: FCAVJ, p. 42, (trabalho de graduação em Zootecnia).

GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. Aveia: composição química, valor nutricional e processamento. São Paulo: Varela, 2000. 191 p

MACHADO, L.A.Z. Aveia: Forragem e cobertura do solo. Embrapa agropecuária oeste. Coleção sistema plantio direto, 3. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 16p. Disponível em: .
https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/243576/1/COL20003.pdf Acesso em 22/05/2019.

MARTINELLO C. Dinâmica de Produção de Forrageiras Anuais de Estação Fria em Diferentes Épocas de Semeadura. Dois Vizinhos PR, UTFPR 2009.

MATZENBACHER, R. G. (coord.). A cultura da aveia no sistema plantio direto. Cruz Alta: FUNDACEP - FECOTRIGO, 1999. 200 p.

MORAES, A. Culturas forrageiras de inverno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, pg 67-78, 1994.

REIS, R.A; MOREIRA, A.L.; SEIXAS, P.F.; et al. (2002). Avaliação de gramíneas anuais de inverno para produção de forragem em Jaboticabal – SP. : 39ª REUNIÃO da SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Recife. “Anais...” Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia,. CD ROOM.

RODRIGUES, R. C. Métodos de Análises Bromatológicas de Alimentos: Métodos Físicos, Químicos e Bromatológicos. Pelotas: EMBRAPA CLIMA TEMPERADO,. (EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. Documentos 306), p 29, 2010.

SANTOS et al. Planejamento de pastagens: melhor caminho para produção de leite com qualidade e menor custo. Revista Plantio Direto, 2011. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=849>. Acesso em: 20 de agosto de 2019.

TONETTO, C.J. Avaliação de Genótipos de Azevém Diplóide e Tetraplóide com Manejos Distintos de Cortes Visando Duplo Propósito Tese (Tese de Doutorado, Produção Vegetal). Faculdade de Agronomia, Santa Maria RS, UFSM pg 32, 2009.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ADUBAÇÃO ORGÂNICA DA ALFAFA

**Amito José Teixeira**
**Maiquel Gromann**
**Paulo Sérgio Gomes da Rocha**
**Antonio Sergio do Amaral**
**John Edson Chiodi**
**Jardes Bragagnolo**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
e-mails: amito@uricer.edu.br; maiquelgromann@uricer.edu.br, asamaral@uriecer.edu.br; rocha@uricer.edu.br; johnchiodi@gmail.com, jardes@uricer.edu.br

**Resumo:** *A cadeia produtiva do leite é de destacada importância para o desenvolvimento da Região do Alto Uruguai gaúcho em função das características regionais. A produção de leite é baixa, em torno de 12,0 kg vaca dia$^{-1}$, e a atividade envolve mais de 10.000 produtores, na grande maioria realizada em pequenas propriedades. O problema principal desta baixa produção é a alimentação deficiente. A alfafa se destaca não só pela produtividade, mas principalmente pela alta qualidade e palatabilidade da forrageira produzida sendo, portanto, alimento volumoso indicado para animais de genética diferenciada. No presente estudo, avaliou-se o potencial forrageiro da alfafa, observando-se sua resposta a diferentes tipos de adubação orgânica, possibilitando assim maximizar a utilização dos recursos endógenos das propriedades rurais. Foram observadas diferenças significativas (P<0,05) para a matéria seca (MS) e matéria verde (MV) no fator adubação, sendo que os resultados dos níveis de adubação orgânica de 100 m³ ha$^{-1}$ de esterco líquido de suínos, 10 e 7,5 toneladas ha$^{-1}$ de cama de aviário, não diferiram estatisticamente em relação a adubação química (220 kg ha$^{-1}$ de super fosfato simples e 600 kg ha$^{-1}$ de cloreto de potássio), sendo ambas significativamente superiores aos demais tratamentos Portanto a cama de aviário e o esterco líquido de suínos podem ser usados para substituir o adubo químico na cultura da alfafa.*

***Palavras chave:*** *Pastagem, leguminosa,, adubação orgânica.*

## 1. INTRODUÇÃO

A alfafa se destaca não só pela produtividade, mas principalmente pela alta qualidade e palatabilidade da forrageira produzida sendo, portanto, alimento volumoso indicado para animais de genética diferenciada. Apesar do alto potencial produtivo da alfafa, a uma série de fatores que tem influência no sucesso de seu cultivo, como a adoção de práticas de manejo que irão garantir seu estabelecimento e persistência, aumentando assim seu potencial produtivo e a qualidade de forragem, cruciais para obtenção de resultados na pecuária leiteira. A Região do Alto Uruguai não se destaca apenas pela pecuária leiteira, mas também pela suinocultura e avicultura. Essas atividades vêm se desenvolvendo ao longo do tempo e buscando um mercado cada vez mais especializado. Isto ocorre devido a grande aumento na demanda de proteína animal. O avanço tecnológico alcançado nos últimos anos, especialmente nos Estados do Sul, São Paulo e em expansão no Centro Oeste, caracterizou-se pela implantação de sistemas mais confinados com produção de grandes volumes de dejetos por unidade de área. Infelizmente, grandes quantidades desses dejetos são jogadas em rios, lagos, solo e outros recursos naturais, repercutindo em desperdícios e na ausência de melhores critérios de planejamento para os sistemas de armazenamento, tratamento, distribuição e utilização. Portanto, hoje com o mundo globalizado cada vez mais se tem observado que as propriedades estão ficando mais tecnificadas com o objetivo de se tornarem mais competitivas. Assim, acabam se viabilizando nas atividades agrícolas, apenas aquelas que conseguem otimizar seus custos, aliado a um aumento da produtividade. No presente estudo, avaliou-se o potencial forrageiro da alfafa, observando-se sua resposta a diferentes tipos de adubação orgânica, utilizando adubo orgânico provenientes de outras atividades da propriedade, possibilitando assim maximizar a utilização dos recursos endógenos das propriedades rurais.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar o efeito de diferentes doses de adubação orgânica em substituição a adubação química sobre a produção de matéria verde (MV) e matéria seca (MS) da Alfafa, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das cadeias produtivas do leite, suínos e aves da região do Alto Uruguai Gaúcho.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nas dependências do CAMPUS II da URI, no município de Erechim.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 3 repetições, sendo as parcelas de 2 metros de comprimento por 2 metros de largura e espaçamento de 20 centímetros entre linhas, constituindo 36 unidades experimentais. Para a coleta do material foi respeitado 0,5 m de bordadura, portanto sendo coletado 1 m² em cada parcela. Os tratamentos foram os seguintes: - T1= testemunha - T2= adubação química (55 kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 150 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio). Metade da dose recomendada pela análise de solo. - T3= adubação química (110 kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 300 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio). Dose recomendada pela análise de solo. - T4= adubação química (220kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 600 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio). Dobro da dose recomendada pela análise de solo. - T5= 25 m³ de dejetos líquidos de suínos $ha^{-1}$ ano em cobertura. - T6= 50 m³ de dejetos líquidos de suínos $ha^{-1}$ ano em cobertura. - T7= 75 m³ de dejetos líquidos de suínos $ha^{-1}$ ano em cobertura. - T8= 100 m³ de dejetos líquidos de suínos $ha^{-1}$ ano em cobertura. - T9= 2,5 ton de cama de aviário $ha^{-1}$ ano em cobertura. - T10= 5 ton de cama de aviário $ha^{-1}$ ano em cobertura. - T11= 7,5 ton de cama de aviário $ha^{-1}$ ano em cobertura. - T12= 10 ton de cama de aviário $ha^{-1}$ ano em cobertura. De posse da análise de solos, foi feita a interpretação através do MANUAL DE ADUBAÇÃO E CALAGEM para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Iniciou -se o preparo do solo, sendo primeiramente aplicado calcário dolomítico para a correção da acidez do solo. Após foi procedido o revolvimento do solo com arado de discos, e para descompactação das camadas mais profundas do solo foi utilizado subsolador. Com o solo revolvido foi realizada gradagem no local para o nivelamento do terreno. Com relação a adubação, foi aplicado super fosfato simples e cloreto de potássio na área. Após esta adubação de base utilizou-se enxada rotativa para incorporação dos fertilizantes e um último nivelamento do terreno. Posteriormente, as parcelas foram delimitadas com o uso de estacas e fez-se a semeadura da alfafa. A mesma foi realizada após inoculação das sementes com inoculante específico para a espécie (*Rhizobium melliotti*). Foram realizados cortes de uniformização quando as plantas estavam com 20% das flores abertas. A obtenção tanto da cama de aviário quanto do esterco liquido de suínos foi através de doação de produtores da região. A cama de aviário era proveniente de seis lotes de frango de corte abatidos com idade de aproximadamente 45 dias, e o esterco liquido de suíno é proveniente de matrizes e tratado em um biodigestor, onde o material retirado encontrava-se totalmente curtido.

As quantidades de nutrientes contidas na cama de aviário com 5 a 6 lotes, segundo A COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC são de 3,5 % de nitrogênio, 3,8 % de P2O5 e 3 % de K2O em média. Já, as quantidades de nutrientes contidas no esterco líquido de suínos, segundo A COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC são de 2,8 Kg $m^3$ de nitrogênio, de 2,4 Kg $m^3$ de P2O5 e 1,5 Kg $m^3$ de K2O. O material coletado serviu para a obtenção da matéria verde (MV) e realização das análises de matéria seca (MS) e proteína bruta (PB). O corte do material foi realizado, no início do florescimento com o auxilio de uma tesoura manual, deixando-se um resíduo uniforme de aproximadamente 10 cm, em todas as parcelas, de forma a garantir o rebrote da pastagem. As análises foram realizadas com o material obtido de 1 $m^2$ da região central de cada parcela, sendo os resultados obtidos, em kg de MV, kg de MS e Kg de PB, foram extrapolados para a produção por $ha^{-1}$, através da utilização de "regra de três". A Pesagem do material coletado para análise, foi efetuada com balança do laboratório de química do Campus II da URI Campus II. A determinação da matéria seca (MS) foi realizada no laboratório de secagem e armazenagem do curso de Agronomia localizado no Campus II da URI. Procedeu-se a análise da variância, com a aplicação do teste de médias Tukey ($P<0,05$) para diferenciação entre os tratamentos dos atributos avaliados. Utilizou-se o SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1. A partir da tabulação dos dados e da análise estatística os dados foram interpretados, discutidos e comparados com os existentes na literatura.

Avaliou os efeitos da aplicação de diferentes quantidades de dejetos líquidos de suínos e cama de aviário em relação a adubação química da alfafa, buscando-se, principalmente verificar o nível de adubação com dejetos líquidos de suínos e/ou aves que apresenta a maior produção de matéria verde e matéria seca.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão discriminados considerando a variável resposta estabelecida.

### 4.1 VARIÁVEL RESPOSTA MATÉRIA VERDE (MV)

Verificou-se diferenças significativas ($P < 0,05$) no fator adubação para a MV, através do teste de Tukey a 5%, sendo que os resultados dos níveis de adubação orgânica (Tab.1) de 100 $m^3$ $ha^{-1}$ de esterco líquido de suínos, 10

toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário, adubação química (220 kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 600 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio) e 7,5 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário foram superiores e não diferiram entre si. Em seguida verificou-se a segunda melhor média com os tratamentos 10 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário, adubação química (220 kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 600 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio), 7,5 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário, 75 $m^3$ $ha^{-1}$ de esterco líquido de suínos, 05 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário e adubação química (110kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 300 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio), os quais não diferiram entre si. As piores medias de produtividade foram dos tratamentos 2,5 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário, 25 $m^3$ $ha^{-1}$ de esterco líquido de suínos, adubação química (55kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 150 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio) e a testemunha, que não diferiram entre si. Na média dos dados analisados, houve aumento na produção de matéria verde (MV) com níveis de adubação orgânica maiores.

Na literatura já se encontram alguns resultados positivos da aplicação de biofertilizantes no aumento da produtividade do feijão (Oliveira et al., 1986), soja, milho e caupí e alface, bem como, no controle de pragas e doenças (Santos, 1992), na decomposição de matéria orgânica com elevada relação C/N (Nakagawa et al., 1991), na melhoria das características físico-químicas do solo (Silva et al., 1995) e no baixo custo de seu uso (Silva et al., 1997). Então, a proposta de uso agrícola dos dejetos produzidos pode se constituir em uma solução adequada para a suinocultura e avicultura, reduzindo os custos de produção para a agricultura e pecuária com uma alternativa eficaz aos adubos químicos, para a legislação e para o meio ambiente. A soma destes elementos poderá trazer minimização das constantes crises no setor (Galante, 2006). Contudo, conforme Souza (2004), uma série de cuidados deve ser tomado para que esta "solução mágica" não gere outros problemas, pois dependendo da inclinação da área, tipo de solo e cultura, a capacidade receptora do solo é variável. Se tais cuidados não forem tomados, o lençol freático, rios, lagos podem ser seriamente contaminados, como o que já ocorre em muitas regiões da Europa, EUA e Canadá, limitando ou eliminando esta útil e produtiva parceria entre a suinocultura/avicultura e agricultura. A dose a ser aplicada depende da concentração dos nutrientes, tipo de solo, planta e proximidade do lençol freático. Sugere-se com base no "Manual de Recomendações de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina", e se necessário completar a adubação com fertilizantes minerais, adequar a dose a quantidade de nitrogênio presente nos dejetos, visando atender a necessidade de cada cultura (Dartora, 1998).

Tab. 1 – Matéria Verde (MV) em função do fator de tratamento dose de adubação da alfafa.

| **Nível de Adubação** | **Matéria Verde (kg $ha^{-1}$)** |
|---|---|
| Tratamento 08 | 8911,90 a |
| Tratamento 12 | 8353,33 ab |
| Tratamento 04 | 7895,90 abc |
| Tratamento 11 | 7501,03 abcd |
| Tratamento 07 | 6169,83bcde |
| Tratamento 10 | 6050,33 cde |
| Tratamento 03 | 5888,60 cde |
| Tratamento 06 | 5776,03 cde |
| Tratamento 09 | 5164,33 def |
| Tratamento 05 | 4552,46 ef |
| Tratamento 02 | 4299,16 ef |
| Tratamento 01 | 3038,33 f |

CV= 14.21 %

## 4.2 VARIÁVEL RESPOSTA MATÉRIA SECA (MS)

Verificou-se diferenças significativas ($P < 0,05$) no fator adubação para a MS, através do teste de Tukey a 5%, sendo que os resultados dos adubação química (220 kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 600 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio) e 7,5 ton $ha^{-1}$ de cama de aviário foram superiores e não diferiram entre si. Em seguida a melhor média foi obtida com os tratamentos 100 $m^3$ $ha^{-1}$ de esterco líquido de suínos, adubação química (220 kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 600 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio), 7,5 ton $ha^{-1}$ de cama de aviário e 05 ton $ha^{-1}$ de cama de aviário, os quais não diferiram entre si. As piores medias de produtividade foram dos tratamentos 2,5 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário, 25 $m^3$ $ha^{-1}$ de esterco líquido de suínos, adubação química (55 kg $ha^{-1}$ de super fosfato simples e 150 kg $ha^{-1}$ de cloreto de potássio) e a testemunha, que não diferiram entre si. Na média dos dados analisados, houve aumento na produção de matéria seca (MS) com níveis de adubação orgânica maiores.

Bernardi et al. (2007) realizaram experimento com doses e frequências de fornecimento de fertilizante potássico e obtiveram respostas quadráticas à adubação potássica; a produção máxima de 14 t $ha^{-1}$ de MS foi obtida com a dose de 124 kg $ha^{-1}$ de $K_2O$, com aplicações após cada corte. Em estudos de Kiehl (1985) os maiores rendimentos resultaram da adubação mineral + calcário, conjuntamente com a cama de poedeiras resultando em uma produção de matéria seca de 11400 kg $ha^{-1}$.

Tab. 2 – Matéria Seca (MS) em função do fator de tratamento dose de adubação da alfafa.

| Nível de Adubação | Matéria Seca (kg $ha^{-1}$) |
|---|---|
| Tratamento 12 | 2174,85 a |
| Tratamento 08 | 2036,17 ab |
| Tratamento 04 | 1814,39 abc |
| Tratamento 11 | 1702,68 abc |
| Tratamento 10 | 1579,61bcd |
| Tratamento 07 | 1522,40 cde |
| Tratamento 06 | 1475,87 cde |
| Tratamento 03 | 1414,63 cde |
| Tratamento 09 | 1206,44 def |
| Tratamento 05 | 1069,04 ef |
| Tratamento 02 | 1036,23 ef |
| Tratamento 01 | 768,07 f |

CV = 11.25%

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:
- A cama de aviário e o esterco líquido de suínos podem ser usados para substituir o adubo químico na cultura da alfafa.
- A aplicação de 100 $m^3$ $ha^{-1}$ de esterco líquido de suínos, 10 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário e 7,5 toneladas $ha^{-1}$ de cama de aviário, alcançaram resultados estatisticamente iguais ao dobro da adubação química recomendada pela análise de solo nas produções de MV, MS.
- A alfafa sendo bem manejada pode produzir expressiva quantidade de forragem de excelente qualidade, e assim se constituir num importante alimento para possibilitar um incremento na produção leiteira da região do Alto Uruguai Gaúcho**.**

## 6. REFERÊNCIAS

BERNARDI, A. C. C.; PAIVA, P. R. P.; MONTE, M. B. M. Produção de matéria seca e teores de nitrogênio em milho para silagem adubado com uréia misturada a zeólita. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 6 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico, 77).

BRUNE, S.; RIBEIRO, V. Q. Uso de biofertilizante em cultura de alface (Lactuce sativa L.).Terezina, Pi: UEPAE, 1985. 14p. Pesquisa em Andamento da UEPAE, Terezina, Pi, n.43.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L.. Manejo de dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA /EMATER/RS, 1998. 32 p.

GALANTE, V. A. Parceria entre suinocultura e agricultura: um estudo do valor do dejeto suíno com interesse agrícola. Obtido na webpage <http://www.porkworld.la/porkworld/ publicacoes.asp?pais=brasil&codigo=38923>, capturado em 13/08/2019.

KIEHL, J.E. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

MELLO, S.Q.S. et al. Adubação nitrogenada em capim-mombaça: produção, efi ciência de conversão e recuperação aparente do nitrogênio. Ciência Animal Brasileira, vol.9, p.935-947, 1998.

NAKAGAWA, J.; PROCHNOW, L.I.; BULL, L.T.; VILLAS BÔAS, R.L. Estudo de obtenção de composto orgânico com o uso de biofertilizantes. Científica, S.Paulo, vol.19, n.2, p.119-128, 1991.

OLIVEIRA, I. P.; SOARES, M.; MOREIRA, J.A. A.; ESTRELA, M. F. C.; DAL´ACQUA, F. M.; PACHECO FILHO, O. Resultados técnicos e econômicos da aplicação de biofertilizante bovino na cultura de feijão, arroz e trigo. Goiânia, CNPAF, 1986. 24p. Circular Técnica, 21.

SANTOS, S.A. Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. 2001, 190p. Tese (Doutorado em Nutrição e Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

SILVA, S.C. da; PASSANEZI, M.M.; CARNEVALLI, R.A. Bases para o estabelecimento do manejo de Cynodon sp para pastejo e conservação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 15., 1995. Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1995, p.129-150.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VILELA, L. & BARCELLOS, A. Carbon storage under introduced pastures in a clayey Oxisol in the cerrado region. In: ANNUAL MEETING OF AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, 89., Anaheim, 1997. Agronomy Abstracts. Madison, ASA/ CRSSA/SSSA, 1997. p.303.

SOUZA, M. L. P. el al. Potencialidade, aspectos ambientais e riscos associados à disposição final de estercos suínos líquidos em terras da Região Oeste e Sudoeste do Paraná. IN: BLEY JR, Cícero Jayme. (Org.). Manual de gestão ambiental da suinocultura. Curitiba: MMA/PNMA II/SEMA/IAP/FUNPAR, 2004. p. 71-140.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR FUMONISINAS DE PAMONHAS PRODUZIDAS E COMERCIALIZADAS NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS E PAULO LOPES

**Angélica Inês Kaufmann**

**Rafaela da Rosa Sartoretto**

**Dayane Alves Moresco**
Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho - Santa Catarina, BRASIL
e-mail: Kaufmann.angelica@gmail.com, rafah-ela@hotmail.com, day_moresco@yahoo.com.br

**Vildes Maria Scussel**
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – Santa Catarina, BRASIL
e-mail: vildescussel_2000@yahoo.co.uk

***Resumo:*** *O Brasil apresenta grande destaque na produção de grãos, sendo o milho amplamente cultivado e de grande importância nutricional e econômica. No entanto, essa cultura é frequentemente afetada por fungos durante seu cultivo, na colheita e no seu armazenamento. Entre esses fungos, destaca-se o* Fusarium verticillioides *que além da deterioração do grão, pode produzir micotoxinas fumonisinas (FBs) no milho, assim como em vários subprodutos. Neste trabalho, foram avaliadas 26 pamonhas Tipo doce, produzidas e comercializadas na região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes. Foram coletados dados sobre avaliação das características e das etapas de fabricação do produto através de visitas às pamonharias e nos pontos de venda do produto. Sendo que foram realizadas análises de umidade, atividade de água, e a determinação de FBs utilizando o método de cromatografia líquida de alta eficiência. As amostras apresentaram umidade média de 64% e* $A_w$ *média de 0,98.* Das *26 amostras de pamonhas analisadas, cinco (19,23%) apresentaram contaminação por FBs. Assim, são necessários maiores estudos com adoção de técnicas de cultivo e manejo do milho, seleção de variedades utilizando híbridos mais resistentes, monitoramento através de análises executadas por autoridades locais e prevenção tanto por parte do produtor quanto pelo fabricante da pamonha.*

***Palavras-chave:*** *Micotoxinas. Fumonisinas. Milho. Pamonha.*

## 1. INTRODUÇÃO

O milho, assim como outros grãos, está constantemente exposto a possíveis contaminações fúngicas, as quais podem se iniciar ainda no campo, ou durante o seu desenvolvimento pelas variações climáticas, assim como durante o seu armazenamento. A contaminação no campo pode ocorrer pela presença de esporos e fragmentos de micélio presentes no solo, advindo de restos de plantas e sementes, ou ainda transportados pelo vento, chuva ou insetos, e é determinado principalmente por fatores ambientais como temperatura e umidade (Moses, et al., 2015).

Os efeitos do crescimento fúngico nos grãos de milho incluem: emboloramento visível, descoloração, odor desagradável, perda de matéria seca, mudanças químicas e nutricionais, perda de qualidade e produção de compostos tóxicos, como as micotoxinas (Pomeranz, 1982). Estas contaminações podem fazer com que os grãos se tornem impróprios e representam um risco para a saúde humana e animal. A exposição a micotoxinas presentes em alimentos e rações está associada à neurotoxicidade, nefrotoxicidade, hepatotoxicidade e distúrbios gastrintestinais (Abbaszadeh, et al., 2014 ).

Dentre os fungos toxigênicos envolvidos na cadeia alimentar destacam-se os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, os quais são responsáveis pela grande maioria das micotoxinas até hoje conhecidas e estudadas. Enquanto as espécies de *Penicillium* e *Aspergillus* são mais comumente encontradas como contaminantes de produtos durante a secagem e armazenamento, as espécies de *Fusarium* são patógenos da planta, que produzem micotoxinas antes, durante e até após a colheita. Dentro do gênero *Fusarium*, as espécies fúngicas mais comuns no campo são *F. verticilioides* e *F. subglutinans*, frequentemente responsáveis pelo apodrecimento de grãos individuais ou de áreas localizadas da espiga de milho e consequente produção de fumonisinas (FBs) (Sweeney; Dobson, 1998).

O consumo de milho verde e seus derivados é uma tradição no Brasil, o mesmo é consumido sob a forma de grãos (milho cozido e assado ainda na espiga), bem como triturado (pamonha, polenta, curau, bolo, mingau dentre outros). O relatório das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), aponta que o Brasil em 2019 teve rápida ascensão na produção de milho e tornou-se o segundo maior exportador mundial desse cereal. Há 10 anos o Brasil exportava somente 1% da produção, hoje já é responsável por 25% do total mundial de vendas. A estimativa da produção de grãos da safra de 2018/2019 é um total de 240,7 milhões de acordo com o Conab (2019).

A contaminação por micotoxinas no milho tem sido de grande preocupação tanto para a exportação do produto (devido as exigências dos países importadores), quanto para seu consumo interno (comercial*:* produção em larga escala ou agricultura familiar*:* produção em quantidades menores). Dentre os produtos típicos brasileiros, que utilizam o milho verde "*in natura"* e com umidade elevada, está a pamonha (Scussel, 2002; Uru; 2007).

A pamonha é o produto obtido a partir do milho verde ralado, adicionado de açúcar, sal e leite, acondicionados na própria palha, seguido de cozimento a uma temperatura de aproximadamente 90ºC durante 30 minutos. No processo de cozimento, o amido do milho gelatiniza formando a consistência característica da pamonha. A temperatura, além da modificação na textura, realiza um processo semelhante à pasteurização em que leva a destruição de micro-organismos e enzimas prejudiciais que, possam vir a deteriorar o alimento, além de reter ao máximo suas qualidades nutricionais. Porém, esta temperatura não é suficiente para destruir esporos de fungos e/ou suas toxinas (*fumonisinas, zearalenona, aflatoxina e desoxinivalenol)*, caso estejam presentes no milho. A extensão da contaminação do milho *"in natura"* é dependente de diversos fatores como a localização geográfica, as práticas agronômicas e de conservação, a vulnerabilidade das plantas à invasão por fungos durante as fases de crescimento, conservação, armazenamento e processamento. Os níveis de FBs são também influenciados por fatores ambientais como temperatura, umidade e chuva durante os períodos de pré-colheita e colheita e pela infestação de insetos (USFDA-CFSAN, 2001a).

Dentre as micotoxinas do milho, as FBs são metabólitos secundários tóxicos, produzidos principalmente no campo por fungos do gênero *Fusarium*, principalmente a espécie *F. verticillioides*, patógeno primário de milho. Alguns métodos físicos, químicos e biológicos são capazes de amenizar ou descontaminar os alimentos com FBs. De acordo com a *European Mycotoxin Awareness Network* (EMAN, 2000), o processo ideal de descontaminação deve ser de fácil aplicação, econômico, não deve dar origem à formação de compostos que ainda apresentem toxiMunicípio, ou alterar as propriedades nutricionais e a palatibilidade do grão e respectivos derivados. O grau de descontaminação depende do método usado e da toxiMunicípio que subsiste na amostra tratada (Soriano; Dragacci, 2004).

É de grande importância o controle de contaminação por FBs em alimentos para uma melhor avaliação do risco para a saúde humana e animal. Maiores estudos são imprescindíveis para a investigação epidemiológica e monitoramento da saúde pública. A implementação de medidas legislativas é necessária para se diminuir a exposição das comunidades urbanas e rurais, especialmente as de tenra idade e daquelas em que se verifica uma dieta excessivamente rica em milho. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo, avaliar as características das pamonhas produzidas na região da grande Florianópolis/SC e do município de Paulo Lopes, quanto à contaminação por FBs, bem como avaliar suas características de comercialização.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Amostras

Foram obtidas um total de 26 pamonhas Tipo doce, com tamanho médio de 200 g, sendo 24 através de processo industrial na região da grande Florianópolis e 2 pamonhas artesanais do município de Paulo Lopes. A Figura 1 ilustra os municípios de procedência das amostras.

### 2.2. Coleta das amostras

Foram realizadas coletas de 26 amostras de pamonhas aleatoriamente em quiosques e supermercados de cinco Municípios da Grande Florianópolis (Palhoça, São José, Santo Amaro da Imperatriz, Antônio Carlos, Governador Celso Ramos). Além destes, foram coletadas amostras no município vizinho, Paulo Lopes. As pamonhas foram colocadas em caixa isotérmica contendo gelo, ao chegar em casa as mesmas foram transferidas para freezer (-16 à -18°C). No dia das análises, as amostras foram transportadas em caixa isotérmica até Laboratório de Análise de Micotoxinas e Contaminantes Alimentares (LABMICO), localizado no Departamento de Ciência e Tecnologia, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. As coletas foram realizadas em dezembro de 2012 e janeiro de 2013. A Tabela 1 apresenta os detalhes das coletas das amostras.

Tabela 1 - Coleta e origem de procedência das amostras de pamonha Tipo doce submetidas ao estudo de FBs.

| | Quantidade de pamonhas coletadas | | Município da coleta | Procedência (artesanal ou industrial) |
|---|---|---|---|---|
| | Coleta 2012 | Coleta 2013 | | |
| | 2 | 2 | Paulo Lopes | Artesanal |
| | 4 | 4 | Palhoça | Industrial |
| | 3 | 3 | Santo Amaro da Imperatriz | Industrial |
| | 1 | 1 | São José | Industrial |
| | 1 | 1 | Antônio Carlos | Industrial |
| | 2 | 2 | Governador Celso Ramos | Industrial |
| Total: | 13 | 13 | | |

Total de amostras: 26

**2.5. Preparo das amostras**

As amostras foram descongeladas e trituradas em liquidificador, seguidas de pesagem em balança analítica, em porções de 5g para a realização das análises de conteúdo de umidade, 5g para análise de atividade de água ($A_w$) e 50g para análise de FBs.

**2.6. Avaliação das características das amostras**

As pamonhas foram avaliadas quanto às características externas de peso, coloração, dimensões (comprimento, largura e espessura), tipo de envoltório da pamonha (palha, número de palhas e tipo de dobradura), tipo de embalagem externa (com ou sem plástico e com ou sem vácuo), tipo de vedação (elástico ou barbante), bem como a informação nutricional.

**2.7. Análises realizadas nas amostras de pamonha**

**2.7.1. Determinação do conteúdo de umidade**

Foi realizada conforme método AOAC (2005), a qual consiste em secagem da amostra em estufa (110 °C ± 5 °C).

**2.7.2. Determinação da atividade de água ($A_w$)**

Foi realizada utilizando o analisador de atividade de água da marca Aqualab 4te.

**2.7.3. Determinação de FBs**

O método empregado foi o publicado no livro de análises oficiais internacionais da AOAC (2005) art 995.15 e compreende as seguintes etapas: extração, limpeza, concentração, derivatização, detecção, quantificação, cálculo final com descritas a seguir:

**a) *Extração:*** Foram pesadas 50 g de amostra de pamonha Tipo doce (previamente triturada) e 100 mL de solução de metanol/água na proporção (80:20) ambos foram colocados em liquidificador durante três minutos e filtrados em papel Whatman nº4, obtendo-se um extrato, sendo deste volume 10 mL separados em proveta para posterior limpeza e concentração.

***B) Limpeza e concentração:*** Nesta etapa foi utilizado cartucho de separação em fase sólida, o "Strong Anion Exchange" SAX (Blond Elute). As fumonisinas foram retidas na coluna pelos grupos de ácidos tricarboxílicos que interagem com os grupos aniônicos. Nesta coluna foi condicionado 5 mL metanol P.A + 5 mL metanol:água (80:20) para realizar a limpeza e extração na amostra. O extrato foi colocado na coluna SAX, sendo que esta requer cuidado do fluxo de eluição, pois a vazão não pode ser superior a 1 mL/min. para que haja eficiência na extração das FBs, caso estejam presentes na amostra. A lavagem da coluna foi realizada com 5 mL de metanol:água (80:20) e 3 mL metanol P.A. Em seguida as FBs foram eluídas com 10 mL de metanol:ácido acético (80:20), sendo o eluato foi evaporado à 60ºC sob nitrogênio e o resíduo foi concentrado e ressuspendido com 1 mL de metanol e novamente evaporado, garantindo dessa forma a total evaporação do ácido acético.

**c) *Derivatização, detecção e quantificação:*** O extrato foi purificado em 0,2 mL de metanol e filtrado em filtros com poros de 0,45 µm. Desta solução foram retirados 0,025 mL e transferidos para frasquinho de vidro com tampa de teflon

onde é adicionado 0,225 mL de solução de orto-ftaldeído (OPA) e mantidos à temperatura ambiente para reação de derivatização por cerca de 2 min. Em seguida 0,02 mL da mistura foram injetados no cromatógrafo líquido equipado com detector de fluorescência (ë =excitação 335 nm e emissão 440 nm).

**d) *Cálculos:*** o cálculo das FBs presentes no extrato da amostra de pamonha, detectado no CLAE/FLD, após cromatograma foi baseado:

[a] Nas áreas de picos foram detectados através da Eq. (1):

$$A(mg) = \frac{GxS}{H} \quad (1)$$

Onde: A= FB injetada; G= área do pico do extrato da amostra; H=área do pico do Padrão e S=quantidade do padrão injetado. No final dividir o resultado por 1000 para chegar ao resultado expresso em µg/kg de amostra.

[b] O cálculo da concentração de FBs presente na amostra foi realizado de acordo com a Eq. (2):

$$C(mg) = \frac{AxTxD}{IxW} \quad (2)$$

Onde: T= volume total da amostra derivatizada (0,25 mL) D= fator de diluição; I=volume de injeção (0,02mL) e W= massa da amostra derivada (g). No final dividir o resultado por 1000 para chegar ao resultado expresso em µg/kg de amostra.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Avaliação das características das amostras de pamonha

Foram realizadas análises de características externas da pamonha com o intuito de verificar a existência de um padrão de produção de pamonha Tipo doce comercializadas na região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes. Analisaram-se características como: peso, coloração, dimensões, envoltório da pamonha, embalagem externa, tipo de vedação e apresentação de informação nutricional no produto final. A Tabela 2 ilustra as características obtidas nas análises das pamonhas Tipo doce comercializadas na região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes.

Tabela 2 - Características analisadas da pamonha Tipo doce comercializados na região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes.

| **MUNICÍPIO DA COLETA** | | Paulo Lopes | Palhoça, São José e Santo Amaro da Imperatriz | Governador Celso Ramos | Antônio Carlos |
|---|---|---|---|---|---|
| **TIPO DE PROCESSAMENTO** | | Artesanal | Industrial | Industrial | Industrial |
| **PESO (gramas)** | | 250 | 200 | 250 | 200 |
| **DIMENSÕES (cm)** | Comprimento | 14 | 13 | 13 | 12 |
| | Largura | 7 | 7 | 7 | 6 |
| | Espessura | 4 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| **TIPO DE ENVOLTÓRIO** | Palha | Presença | Presença | Presença | Presença |
| | Nº de palhas | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | Tipo de Dobradura | Retangular | Retangular | Retangular | Retangular |
| **EMBALAGEM EXTERNA** | Com plástico | Ausência | Sob vácuo | Sob vácuo | Ausência |
| **VEDAÇÃO** | Barbante | Presença | Ausência | Ausência | Ausência |
| | Elástico | Ausência | Presença | Presença | Presença |
| **INFORMAÇÃO NUTRICIONAL** | | Ausência | Presença | Presença | Ausência |

Esta tabela mostra que não há um padrão único característico entre os diferentes tipos de produção de pamonha e cada uma possui características específicas. A pamonha artesanal foi a única que possui coloração amarelo mais escura que as demais pamonhas industrializadas e também possui dimensões maiores. Esta pamonha foi embalada diretamente na palha, foi vedada com barbante, não possui embalagem externa e não possui rótulo com informação nutricional. É comercializada em feiras e quiosques. Já as pamonhas oriundas de processamento industrial possuem peso, coloração, dimensões, envoltório de palha de milho verde e vedação com uso de elástico, tendo como controle os padrões de qualidade e etapas de processamento.

Contudo, cada fábrica utiliza seu padrão de característica. As pamonhas são comercializadas principalmente em supermercados. Existem fábricas que utilizam embalagem externa com ou sem rótulo, com ou sem informação nutricional, bem como embalagem sob vácuo ou apenas com plástico. Por ser um produto de origem colonial e poder ser atribuído características, ingredientes e modos de preparo diferentes de acordo com a cultura de cada região, não há um padrão geral específico de produção, embora a ANVISA recomende as etapas e o tipo de processamento em pamonharias no Brasil (Brasil, 1997).

### 3.2. Determinação de umidade e $A_w$

Os resultados quanto à determinação do conteúdo de umidade e $A_w$ das amostras avaliadas, coletadas no período de dezembro de 2012 a janeiro de 2013 podem ser observados na Tab. 3 e Tab. 4.

Tabela 3 - Umidade e atividade de água nas amostras de pamonha Tipo doce produzidas e comercializadas na região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes no ano de 2012.

| Municípios de coleta | Coletas de 2013 | Aw | Tº C | Umidade(%) |
|---|---|---|---|---|
| Paulo Lopes | Amostra 1 | 0,9855±0,0058 | 24,8±0,1 | 56,00±0,1 |
| Paulo Lopes | Amostra 2 | 0,9866±0,0022 | 24,9±0,1 | 62,1±0,2 |
| Palhoça | Amostra 3 | 0,9878±0,0013 | 24,6±0,1 | 63,4±0,1 |
| Palhoça | Amostra 4 | 0,9889±0,0025 | 24,9±0,1 | 70,8±0,1 |
| Palhoça | Amostra 5 | 0,9901±0,0087 | 24,9±0,1 | 61,4±0,1 |
| Palhoça | Amostra 6 | 0,9868±0,0096 | 24,9±0,1 | 61,1±0,2 |
| Santo Amaro da Imperatriz | Amostra 7 | 0,9854±0,0081 | 24,3±0,1 | 76,40,1 |
| Santo Amaro da Imperatriz | Amostra 8 | 0,9851±0,0031 | 24,9±0,1 | 71,4±0,1 |
| Santo Amaro da Imperatriz | Amostra 9 | 0,9920±0,0075 | 24,5±0,1 | 68,2±0,3 |
| São José | Amostra 10 | 0,9863±0,0089 | 24,5±0,1 | 59,9±0,1 |
| Antônio Carlos | Amostra 11 | 0,9771±0,0051 | 24,9±0,1 | 64.2±0,2 |
| Governador Celso Ramos | Amostra 12 | 0,9850±0,0096 | 24,5±0,1 | 57,6±0,1 |
| Governador Celso Ramos | Amostra 13 | 0,9733±0,0094 | 24,4±0,1 | 60,6±0,2 |

Tabela 4 - Umidade e atividade de água nas amostras de pamonha Tipo doce produzidas e comercializadas na região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes no ano de 2013.

| Municípios de coleta | Coletas de 2013 | Aw | Tº C | Umidade(%) |
|---|---|---|---|---|
| Paulo Lopes | Amostra 1 | 0,9857±0,0022 | 24,6±0,1 | 63,5±0,1 |
| Paulo Lopes | Amostra 2 | 0,9844±0,0072 | 24,2±0,1 | 59,6±0,1 |
| Palhoça | Amostra 3 | 0,9870±0,0098 | 24,6±0,2 | 65,6±0,1 |
| Palhoça | Amostra 4 | 0,9899±0,0064 | 24,8±0,1 | 68,6±0,1 |
| Palhoça | Amostra 5 | 0,9901±0,0024 | 24,8±0,1 | 64,7±0,1 |
| Palhoça | Amostra 6 | 0,9882±0,0018 | 24,7±0,1 | 70,6±0,1 |
| Santo Amaro da Imperatriz | Amostra 7 | 0,9858±0,0047 | 24,5±0,2 | 66,0±0,1 |
| Santo Amaro da Imperatriz | Amostra 8 | 0,9866±0,0025 | 24,8±0,1 | 63,8±0,1 |
| Santo Amaro da Imperatriz | Amostra 9 | 0,9921±0,0098 | 24,7±0,1 | 71,6±0,1 |
| São José | Amostra 10 | 0,9867±0,0099 | 24,6±0,2 | 58.5±0,1 |
| Antônio Carlos | Amostra 11 | 0,9799±0,0043 | 24,8±0,3 | 64.1±0,1 |
| Governador Celso Ramos | Amostra 12 | 0,9847±0,0022 | 24,5±0,1 | 58.6±0,1 |
| Governador Celso Ramos | Amostra 13 | 0,9794±0,0033 | 24,5±0,1 | 52.3±0,1 |

Nas amostras de pamonhas Tipo doce analisadas neste estudo, foram obtidos os valores de $A_w$ entre 0,98 e 0,99 com leitura da amostra próxima a 25ºC. Segundo Marín, et al. (1995), o crescimento do *Fusarium verticillioides* é

influenciada pela $A_w$, temperatura e pH. Elas obtiveram em suas pesquisas o desenvolvimento de *F. verticillioides* e *F. proliferatum* a 40 °C, em $A_w$ maior do que 0,94. Nas temperaturas de 25, 30 e 40°C, estes cresceram em meios de cultivo com $A_w$ 0,90, aumentando o crescimento quando se elevava a $A_w$ para 0,98. Em outro experimento variando-se $A_w$, temperatura e período de incubação, uma maior concentração de FBs foi produzida a temperatura de 30ºC e $A_w$ de 0,98. A produção de FBs se mostrou dependente da temperatura e da $A_w$ com produção em concentrações significativas para a saúde de animais e seres humanos em $A_w$ maior que 0,95 (Marìn et al., 1999). Já na pesquisa de Bacon e Nelson (1994), foi estabelecido que a temperatura ótima de crescimento de FBs está entre 22,5 e 27,5 °C, com máxima entre 32 e 37 °C. Portanto, conforme os nossos dados, com $A_w$ média de 0,98, temperatura média de 24,4°C, e umidade média de 64,5%, as amostras apresentam ótimas condições para proliferação do *Fusarium verticillioides* com possível crescimento de micotoxinas FBs, caso existam cepas toxigênicas.

### 3.3. Determinação de FBs por HPLC com detecção por fluorescência

Quanto à contaminação por FBs, do total de 26 amostras analisadas, cinco amostras (19,2 %), apresentaram contaminação por essas toxinas. Já, as demais amostras de pamonha Tipo doce não apresentaram contaminação pelas toxinas de *Fusarium,* ou seja, estavam abaixo do limite de detecção (LOD), onde o LOD é de 0,06 µg/kg para FB1 e de 0,14 µg/kg de FB2, pelo método utilizado (AOAC, 2005).

A Tabela 5 ilustra os resultados obtidos na análise de FBs nas amostras de pamonha Tipo doce coletadas na Região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes.

Tabela 5 - Resultado da análise de FBs nas pamonhas Tipo doce coletadas na Região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes

| **Pamonha Tipo doce** | | **FBs[a] (µg/kg)** | | |
|---|---|---|---|---|
| **Município** | **Amostras/2012** | **$FB_1$[b]** | **$FB_2$[c]** | **ΣFBs[d]** |
| Paulo Lopes | 02 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Palhoça | 02 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Palhoça | 01 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Palhoça | 01 | 227,8 | <LOD | 227,8 |
| Santo Amaro da Imperatriz | 03 | <LOD | <LOD | <LOD |
| São José | 01 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Antônio Carlos | 01 | 80,6 | <LOD | 80,6 |
| Governador Celso Ramos | 02 | <LOD | <LOD | <LOD |
| **Total de amostras** | **13** | | | |
| **Município** | **Amostras/2013** | **$FB_1$[b]** | **$FB_2$[c]** | **ΣFBs[d]** |
| Paulo Lopes | 02 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Palhoça | 02 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Palhoça | 01 | 225,7 | <LOD | 225,7 |
| Palhoça | 01 | 110,6 | 62,1 | 172,7 |
| Santo Amaro da Imperatriz | 03 | <LOD | <LOD | <LOD |
| São José | 01 | <LOD | <LOD | <LOD |
| Antônio Carlos | 01 | 71,2 | <LOD | 71,2 |
| Governador Celso Ramos | 02 | <LOD | <LOD | <LOD |
| **Total de amostras** | **13** | | | |

Onde: a) FBs- fumonisinas (µg/kg); b) fumonisina $B_1$; c) fumonisina $B_2$; d) Somatório de fumonisinas. O limite de detecção (LOD) é 0,06 µg/kg para $FB_1$ e 0,14 µg/kg de $FB_2$ e quando apresentar <LOD, significa não detectado e não quantificado.

Em clima temperado, como em Santa Catarina, o desenvolvimento fúngico é favorecido por fatores como excelentes condições de umidade e temperatura. Os fungos crescem e se proliferam bem no milho, onde geralmente encontram um substrato altamente nutritivo para o seu desenvolvimento.

A ocorrência de $FB_1$ em alimentos produzidos no Brasil já foi descrita por diversos pesquisadores (Mallmann, et al., 2001; Rodriguez-Amaya; Sabino, 2002), realizaram uma intensa revisão bibliográfica sobre a presença de micotoxinas em alimentos, e encontraram alta incidência e níveis elevados de FBs em milho e produtos de milho coletados no período de 1991 a 2000 no Brasil.

Da Rosa et al. (2012) avaliaram a qualidade de 301 amostras de arroz e seus subprodutos Brasil, no período de 2006 a 2011. Das 42 amostras de farelo de arroz 9,52% apresentaram contaminação por FB1 na concentração de (0.33-2.6 mg/kg) e das 42 amostras de quirera, 14,29% apresentaram contaminação por FB1 na concentração de (0,0068 - 2,9 mg/kg). As demais amostras não apresentaram contaminação por FBs.

Das 26 amostras de pamonha Tipo doce coletadas e analisadas no período de dezembro/2012 a janeiro/2013, quatro apresentaram resultado positivo para contaminação por $FB_1$ e uma por $FB_1$ e $FB_2$, resultando em 19,23% do total de amostras coletadas. No município de Palhoça, das oito amostras, uma coletada em dezembro/2012, apresentou contaminação por $FB_1$, na concentração de 227,8 µg/kg e duas coletadas em janeiro/2013 apresentaram resultado positivo para FBs. Uma delas apontou detecção de 225,7 µg/kg de $FB_1$, porém a outra amostra coletada neste mesmo período foi a única dentre todas as amostras que apresentou resultado positivo tanto para $FB_1$ quanto para $FB_2$, nas concentrações de 110,6 µg/kg de $FB_1$ e 62,1 µg/kg de $FB_2$, resultando um total de 172,7 µg/kg de FBs.

No município de Antônio Carlos, das duas amostras coletadas em dezembro/2012 e janeiro/2013, ambas apresentaram contaminação, sendo detectados 80,6 µg/kg e 71,2 µg/kg de $FB_1$, respectivamente. As demais (21) amostras analisadas apresentaram resultado negativo (<LOD) para contaminação de FBs.

Além da genética do milho, condições ótimas de temperatura, pH, $A_w$, ataque de fungos ou outros micro-organismos na planta, o uso de fungicidas entre outros fatores durante a produção e colheita do milho verde, são possíveis causas para contaminação no milho por FBs. Outra possível explicação para contaminação das 5 amostras analisadas, deve-se ao fato de que as pamonhas chegam aos pontos de venda congeladas (-18ºC) e o mesmo fica responsável pelo descongelamento que deve ser em temperatura ambiente, bem como pelo aquecimento do produto que deve atingir temperatura de 100ºC no centro geométrico. O comerciante deve ter cuidados no acondiciomento e período de validade do produto. Todos os fatores mencionados podem contribuir com a proliferação das micotoxinas, caso existam cepas toxigênicas na pamonha.

Neste estudo, foi possível identificar o local de procedência, bem como de produção de cada amostra. Os resultados apresentados possuem alto valor significativo, pois do total de 26 amostras, 4 pamonhas apresentaram detecção para $FB_1$ e quantificadas, com concentrações de (71,2/ 80,6/225,7/227,8 µg/kg) e uma amostra com 110, µg/kg de $FB_1$ e 62,1 µg/kg de $FB_2$). As amostras provenientes das três indústrias que produzem pamonhas e as comercializam na Região da Grande Florianópolis, apresentaram em algum dos pontos de venda, uma amostra com resultado positivo para FBs.

Verificou-se que no município de Paulo Lopes, o único local que produz pamonha de maneira artesanal, as pamonhas são comercializadas no mesmo dia da produção, não havendo a etapa de congelamento e nem armazenamento em refrigerador. E possivelmente por apresentar menor manipulação, menor trocas de calor e rápido consumo, esta amostra não apontou detecção de FBs.

Apesar dos baixos níveis de fumonisinas detectados e quantificados, todas as 5 amostras estão abaixo do limite máximo tolerado (LMT) de 2000-2500 µg/kg de FBs, recomendado pela ANVISA (Brasil, 2011). Entretanto se alimentos contaminados com micotoxinas forem constantemente consumidos, podem acabar interferindo a longo prazo na saúde humana e na saúde e no desempenho dos animais, pois segundo Hayes e Campbell (1986), a micotoxicose implica em enormes prejuízos de ordem econômica, sanitária e comercial, principalmente, pelas suas propriedades anabolizantes, estrogênicas, carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas.

Portanto, é necessário o monitoramento por parte do produtor, visando melhores condições no cultivo do milho verde, adotando técnicas de cultivo e manejo que inviabilizam o crescimento de fungos, como por exemplo, a colheita manual deve ser realizada em períodos frescos do dia, deve-se manter o controle da qualidade em todas as etapas do processamento e adequação do ambiente de produção da pamonha, seguindo as normas da ANVISA (Brasil, 1997).

## 4. CONCLUSÃO

Sendo as micotoxinas contaminantes naturais, é impossível assegurar a sua completa eliminação dos produtos derivados do milho verde, como a pamonha. Mas a sua presença pode ser minimizada através de métodos físicos, químicos ou biológicos, evitando riscos para a saúde.

As análises realizadas sobre as características das pamonhas como: peso, coloração, dimensões, envoltório da pamonha, embalagem externa, tipo de vedação e apresentação de informação nutricional no produto final demonstram que não há um padrão específico entre os diferentes locais de produção de pamonha. Já as análises de conteúdo de umidade e $A_w$ apenas comprovaram que o derivado de milho escolhido neste trabalho, possuem todas as características necessárias para desenvolvimento/proliferação de fungos, portanto deve-se ter maiores cuidados na colheita do milho,

limpeza, temperatura de cozimento e de armazenamento da pamonha pronta para consumo, a fim de evitar a proliferação.

Os resultados encontrados nas 26 amostras de pamonhas Tipo doce comercializadas na região da Grande Florianópolis e Paulo Lopes foram satisfatórias quanto à análise de FBs. Do total analisado, apenas cinco amostras (19,23%) apresentaram resultado positivo para FBs nas concentrações de (71,2/ 80,6/ 110,6/ 225,7/ 227,8 µg/kg de $FB_1$ e uma amostra com 62,1 µg/kg de $FB_2$).

Independentes desses resultados são necessários maiores fiscalizações pela vigilância sanitária nos locais de produção e comercialização do produto para manter a qualidade, bem como a conscientização por parte dos agricultores e manipuladores de milho verde quanto à contaminação do milho por fungos toxigênicos. É importante uma maior divulgação de dados científicos devido aos altos índices de doenças que estão relacionados em humanos e em animais quanto à ingestão de alimentos contaminados com FBs.

## 5. REFERÊNCIAS

Abbaszadeh, S. et al. Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. *Journal de Mycologie Medicale/Journal of Medical Mycology*, v. 24, p. 51-56. 2014.

BRASIL ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, RESOLUÇÃO Nº 7, DE 18 DE FEVEREIRO DE 2011. *Dispõe sobre limites máximos tolerados para micotoxinas em alimentos.* Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007_18_02_2011_rep.html> Acesso: Fevereiro, 2013.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, PORTARIA SVS/MS Nº 326, DE 30 DE JULHO DE 1997. *Dispõe sobre regulamento técnico sobre as condições higiênicosanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtore/industrializadores de alimentos*. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/388704/Portaria%2BSVS-MS%2BN.%2B326%2Bde%2B30%2Bde%2BJulho%2Bde%2B1997.pdf/87a1ab03-0650-4e67-9f31-59d8be3de167>Acesso: Agosto, 2019.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC. *International Natural toxins.* 18th Edition. Gaithersburg, USA, 2005.

Bacon, C. W.; Nelson, P. E. Fumonisin Production in corn by toxigenic strains of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum*. *Journal of Food Protection*. Washington, v. 57, n. 6, p. 514-521, 1994.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Safra Brasileira de grãos 2019*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 19 agosto 2019.

DA Rosa, R. et al. *Qualidade do arroz e seus subprodutos quanto à contaminação por micotoxinas de campo e armazenamento*, 2012.

EMAN (2000). European *Mycotoxin Awareness* Network (http:// www.mycotoxins.org). 07-03-2013.

Hayes, J.R.; CAMPBELL, T.C. Contaminants. In: Casarett, L.S. (Ed.) *Toxicology: the basic Scienc of Poi*sons, p.771-800. 1986.

Mallmann, C. A. et al. Prevalência de desoxinivalenol em alimentos consumidos no Brasil. In: XII Congresso Brasileiro de Toxicologia. *Anais...* Porto Alegre, 2001.

Marín, S. et al. Impact of Fusarium moliniforme and F. proliferatum Colonization of Maize on Calorific Losses and Fumonisin Production Under Different Environmental Conditions. *Journal of Stored Research*, v. 35, p. 15-26, 1999.

Marín, S. et al. Water activity, temperature, and pH effects on growth of Fusarium moniliforme and Fusarium proliferatum isolates from maize. *Canadian Journal Microbiology*, Ottawa, v.41, p.1063-1070, 1995.

Moses, J. A. et al. Climate change and its implications on stored food grains. *Agricultural Research*, v. 4, p. 21-30. 2015.

Pomeranz, Y. *Biochemical, functional and nutritive changes during storage*. In: CHRISTENSEN, C.M. (ed). Storage of cereal grains and their products, p. 145-217, 1982.

Rodríguez-Amaya, D. B.; Sabino, M. Mycotoxin research in Brazil: the last decade in review. *Brazilian Journal Microbioly*. v.33, p.1-11, 2002.

Scussel, V. M. *Fungos em grãos armazenados.* In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (ed). Armazenagem de grãos. Campinas: IBG, p.675-804, 2002.

Soriano, J. M.; Dragacci, S. Intake, decontamination and legislation of fumonisins in foods. *Food Research International.* v. 37, p. 367-374, 2004.

Sweeney, M. J.; Dobson, A. D. W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *International Journal of Food Microbiology*, v. 43, p. 141-158, 1998.

Uru, P. M. S. B. *Do milho à pamonha.* Monografia (Especialização em Tecnologia de Alimentos) -Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

USFDA-CFSAN (2001a). *Fumonisin levels in human foods and animal feeds in.* http://www.cfsan.fda.gov/~dms/fumongu2.html. Acesso em janeiro de 2013.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CALDO DE CANA DE AÇÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) IN NATURA E DO CALDO DE CANA DE AÇÚCAR LIOFILIZADO

**Angélica Inês Kaufmann**

**Ana Karolina Cherobin**

**Liana Renata Canonica**

**Mateus Alcides Pagliarini**

**Weber da Silva Robazza**
Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho - Santa Catarina, BRASIL
Kaufmann.angelica@gmail.com, anakarolinach73@gmail.com, lianarenata@gmail.com, pagliarini.mateus@gmail.com, wrobazzi@yahoo.com.br.

***Resumo:*** *A cana-de-açúcar é uma planta amplamente distribuída, de grande importância ecônomica que tem sido usada principalmente para a produção alimentícia. O caldo de cana, obtido da moagem do caldo de cana, é um tipo de bebida natural e barata que apresenta sabor agradável, possui alto valor energético, apresenta sacarose na sua composição, além de vitaminas e sais minerais, o que lhe confere grande valor nutricional. Entretanto, como trata-se de um produto muito perecível, é importante que seja submetido a um processo de secagem, como o processo de liofilização, para prolongar a vida de prateleira. Neste contexto, o caldo de cana in natura e em pó foram analisados quanto aos parâmetros de umidade, cinza, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, atividade de água, cor, índice de solubilidade em água, teor de minerais e compostos fenólicos. Todas as análises apresentaram diferença significativa, com exceção do pH, que não apresentou diferença significativa entre as amostras. Os pós se apresentaram como boas fontes de minerais e de compostos fenólicos. O processo de liofilização utilizado é uma técnica viável para ser utilizada em caldo de cana in natura.*

**Palavras-chave: Cana de açúcar. Caldo de cana. Liofilização.**

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é um vegetal economicamente importante em mais de 70 países, sendo a principal base para a produção de açúcar e também de etanol, com a liderança do Brasil na produção mundial (de Souza et al., 2014; Goldemberg, 2008, Ortegón et al., 2016). Além da produção de açúcar, esta planta possui outras aplicações importantes, como combustível de biomassa (Katare e Madurwar, 2017), nutracêutico (Río et al., 2015), rum, aguardente (Belmonte-Sánchez et al., 2018) sendo, inclusive, utilizada para alimentação aninal. O Brasil possui condições climáticas favoráveis para o cultivo desse vegetal, e o maior cultivo se concentra nas regiões tropicais e subtropicais, sendo uma das principais safras da economia brasileira, contabilizando 36% da produção global (Bodunrin et al., 2018; Caldeira-Pires et al., 2018; Du et al., 2018; Singh et al., 2015). A produção de cana-de-açúcar no Brasil, na safra 2018/19, foi de 620,44 milhões de toneladas, enquanto que na região sul do país a produção ficou em 35,5 milhões toneladas (CONAB, 2019). O valor estimado para a safra 2019/2020 é de 323.416,4 mil toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2019).

Da moagem da cana-de-açúcar é extraído o caldo de cana ou garapa, como popularmente é conhecido. Este produto é consumido na forma de bebida açúcarada, um tipo de bebida natural e barata que apresenta sabor agradável e possui alto valor energético, sendo muito popular nos países onde a cana é cultivada comercialmente. O caldo de cana é uma matéria-prima nobre, pois apresenta em sua composição vitaminas e sais minerais, o que lhe confere um valor nutricional excepcional. Contém também alguns compostos fenólicos e possui atividade antioxidante, o que o torna uma fonte potencial de nutracêuticos e produção farmacêutica (Bhattacharjee et al., 2017; Colombo et al., 2006; Farias et al., 2011; Duarte-Almeida et al., 2006).

A cana-de-açúcar juntamente com o caldo de cana-de-açúcar tem sido utilizada em vários sistemas de medicina tradicional em todo o mundo. O caldo de cana apresenta vários benefícios à saúde e é usado para tratar doenças como icterícia, constipação, anemia, pressão baixa, infecções da pele e do trato urinário, bronquite e problemas cardíacos (Kadam et al., 2008).

Além disso, vários estudos in vitro e in vivo demonstraram que os extratos de cana apresentam efeitos benéficos, incluindo estimulação da resposta imune, melhora do consumo de ferro e proteção contra envenenamento por arsênico, além de atividades anticargiogênicas, antioxidantes e citoprotetora (Jaffé, 2015; Nayaka et al., 2009). Essas atividades benéficas da cana-de-açúcar e do caldo de cana resultam dos efeitos de metabólitos secundários, como polifenóis e flavonóides. Vários estudos demonstraram os importantes efeitos benéficos para a saúde dos açúcares não refinados e seus subprodutos. Esses efeitos benéficos, além dos citados anteriormente, incluem a prevenção do diabetes e da hipertensão arterial (Jaffé, 2015).

No entanto, em virtude do caldo de cana ser perecível aos aspectos físicos (calor e luz), químicos (reações enzimáticas, oxigênio) e biológicos (microrganismos, insetos) (Graumlich et al., 1986), além de apresentar em sua composição alto teor de açúcar e água, o produto deteriora-se em curto perído de tempo, sendo difícil a comercialização do produto in natura. Dessa maneira, o uso de uma tecnologia para a conservação e comercialização do produto é de grande importância, a fim de disponibilizar o produto por períodos maiores (Oliveira et al., 2014).

Entre os métodos de conservação de alimentos, a liofilização, que consiste em desidratação por congelamento, é um excelente método para ser utilizado em alimentos, tais como polpa de frutas, sucos e caldos. Os pós resultantes desse processo apresentam boa vida útil devido ao baixo teor de atividade de água, e são facilmente reconstituídos. Atualmente, verifica-se que a produção de alimentos desidratados que são facilmente reconstituídos e/ou dissolvidos desperta grande interesse da população, pois há uma crescente demanda por produtos prontos, que sejam fáceis e rápidos de preparar (Marques et al., 2009; Chauhan e Patil, 2013). Além do mais, a extração da água por sublimação preserva as características nutricionais (Shofian et al., 2011), o que aumenta a durabilidade, facilita o transporte, o armazenamento e a comercialização do produto (Marques et al., 2009).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar as características físico-químicas do caldo in natura e do pó do caldo de cana-de-açúcar liofilizado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Coleta das amostras

A matéria-prima do presente estudo foi adquirida numa propriedade rural no município de Nova Erechim - SC, a qual foi conduzida para o laboratório planta piloto de frutas, hortaliças e cereais da Universidade do Estado de Santa Catarina- UDESC. Após a limpeza e sanitização, a cana-de-açúcar foi moída em moinho elétrico (Mactron) para extração do caldo. O caldo então foi acondicionado em garrafas de polietileno, as quais foram colocadas em caixa térmica para posterior filtragem do caldo em peneiras de aproximadamente 32 Mesh previamente limpas. Em seguida, o caldo de cana in natura foi congelado até -86ºC em ultrafreezer marca Indrel, e o caldo de cana em pó foi obtido através do processo de liofilização.

### 2.2. Liofilização do caldo de cana-de-açúcar

Para obtenção do caldo de cana em pó, as amostras foram colocadas em cápsulas de vidro e foram previamente congeladas até -86ºC em ultrafreezer marca Indrel, linha IULT, durante 60 minutos. Em seguida, as amostras foram desidratadas em liofilizador marca ilShin, modelo TFD 5503, durante 28 horas.

### 2.3. Caracterização físico-química do caldo de cana in natura liofilizado

Os teores de umidade (U), cinzas (CZ), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) das amostras de caldo de cana in natura e em pó foram determinados segundo AOAC (2016). As determinações do pH de ambas foram realizadas utilizando pHmetro pH Probe 86P2, mPA210, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4 e 7. A atividade de água (Aw) das amostras foi determinada por meio de equipamento marca Pró-analise, modelo Testo 650, em temperatura ambiente de 20º C.

Para determinação da cor (C) das amostras utilizou-se colorímetro portátil (CR-400) de acordo com a escala L* a* b* ou CIELAB, recomendada pela Commision Internationale de L'Eclairage (CIE). No qual L* define a luminosidade (L* = 0 preto e L* = 100 branco) e a* e b* são responsáveis pela cromaticidade (+a* vermelho e –a* verde, + b* amarelo e –b* azul) (Ferrari et al., 2012).

O Índice de solubilidade em água (ISA) do caldo de cana em pó foi determinado conforme o método de Cano-Chauca et al. (2005) com algumas modificações. Para a quantificação dos metais cálcio, ferro, magnésio, potássio e cobre das amostras foi utilizado espectrômetro de absorção atômica em chama modelo SpectrAA 220 e lâmpadas 44 de catodo oco ambos da marca Varian, de acordo com AOAC (1995).

A determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) do caldo de cana em in natura e em pó, foi realizada utilizando espectrofotômetro de acordo com a metodologia de Folin-Ciocalteau, utilizando ácido gálico como padrão (Singleton et al., 1999).

Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos por meio de média e desvio padrão.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização físico-química do pó de caldo de cana de açúcar obtidos por liofilização estão expostos na Tab. 1.

Tabela 1. Valores médios da caracterização físico-química do caldo de cana in natura e do liofilizado

| Análises físico-químicas | Caldo de cana in natura | Caldo de cana liofilizado |
|---|---|---|
| **Umidade (%)** | 84,23 ± 0,08[a*] | 6,06 ± 0,26[b] |
| **Cinzas (%)** | 0,46 ± 0,26[b] | 2,78 ± 0,01[a] |
| **Acidez Titulável Titulável (% de ácido cítrico)** | 0,29 ±0,00[b] | 0,96 ± 0,05[a] |
| **Sólidos solúveis totais (ºBrix)** | 19,50 ± 0,05[a] | 9,90±0,00[b] |
| **pH** | 5,26 ± 0,01[a] | 5,28 ± 0,02[a] |
| **Atividade de água** | 0,98 ± 0,00[a] | 0,36 ± 0,00[b] |
| **Solubilidade em água** | - | 100% |
| **Cor** | | |
| L* | 12,08±0,02[b] | 59,35±0,18[a] |
| a* | -2,56±0,08[b] | -1,44±0,04[a] |
| b* | 8,05±0,05[b] | 25,22±0,10[a] |
| **Minerais:** | | |
| Cálcio (mg.kg$^{-1}$) | 116,2 ± 1,4[b] | 652, 4 ± 26,9[a] |
| Ferro (mg.kg$^{-1}$) | 24,63 ± 0,17[b] | 68,61 ± 28,17[a] |
| Magnésio (mg.kg$^{-1}$) | 91,39 ± 0,89[b] | 470,49 ± 26,10[a] |
| Potássio (mg.kg$^{-1}$) | 118,27 ± 5,80[b] | 552, 30 ± 45,33[a] |
| Cobre (mg.kg$^{-1}$) | 0,30 ± 0,01[b] | 2,76 ± 0,62[a] |
| **Compostos Fenólicos (mg GAE/100g)** | 2,69 ± 0,19[b] | 27,91 ± 0,88[a] |

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05).

Após a liofilização do caldo de cana in natura, observou-se a redução de mais de 80% no peso inicial das amostras, valor relacionado à umidade do produto, tendo sido o mesmo resultado observado por Segato et al. (2006).

Os valores de umidade verificados foram 84,23% para o caldo de cana in natura e de 6,06% para o caldo de cana em pó, representando diferença significativa entre eles (p<0,05). Esses teores de umidade atendem aos padrões da RDC número 272, de 22 de setembro de 2005 da ANVISA, que determina o teor máximo de umidade para produtos secos de 12,0% (BRASIL, 2005). Theodorovski et al. (2014), obtiveram os valores de umidade de 69,78% para o caldo de cana in natura e 3,50% para o caldo de cana em pó, valores inferiores encontrados neste trabalho.

Os teores de cinzas (%) do caldo de cana in natura e em pó foram de 0,46% e 2,78%, respectivamente, apresentando diferença significativa (p<0,05) entre os resultados. O processo de liofilização ocasionou aumento no teor de cinzas devido à concentração do produto.

A acidez total titulável, ATT, é uma análise que, quando, realizada em produtos de origem vegetal, auxilia na determinação da qualidade e maturação da matéria-prima (Marques et al., 2016). Os produtos utilizados no presente estudo apresentaram valores de 0,29% e 0,96% respectivamente. Oliveira et al. (2007) encontraram 0,04 % de ácido cítrico no caldo de cana, enquanto que Theodorovski et al. (2014) encontraram 0,04 % tanto para o caldo de cana in natura quanto para o caldo em pó e Kunitake (2012) encontrou 0,03 a 0,071 % dependendo da variedade da cana utilizada.

Os valores de sólidos solúveis totais para o caldo de cana e para o caldo de cana em pó foram de respectivamente 19,5º Brix e 9,9º Brix, apresentando diferença significativa entre eles. Prati et al. (2005), elaboraram uma bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada estabilizada e sucos de frutas ácidas e verificaram que em todos os tratamentos: garapa, garapa com suco de limão, garapa com suco de abacaxi e garapa com suco de maracujá houve diferenças significativas em valores de °Brix, com valores de 22,80, 21,90, 22,10 e 22,60, respectivamente. Theodorovski et al. (2014), encontraram valores de 20,1° Brix no caldo de cana in natura e 6,20º Brix no caldo de cana em pó. No entanto, Silva (2006) encontrou 19º Brix no caldo de cana valor próximo ao encontrado no presente trabalho. Por sua vez, Marques (2009) observou valores da ordem de 18,5º Brix para o caldo de cana.

O valor de pH encontrado foi próximo aos valores obtidos por Faria (2006), pH de 5,30. Prati e Moretti (2002) e Kunitake (2012) observaram um pH de 5,46 para o caldo de cana in natura, enquanto que Suzart (2009) obteve um pH de 5,42. Já Theodorovski et al. (2014) registraram um valor mais baixo de 4,75. Na pesquisa realizada por Silva e Faria (2006), os resultados mostraram uma pequena variação do pH no caldo de cana de diferentes variedades estudadas, e no entanto, os valores apresentaram diferenças significativas em relação à acidez titulável, sendo que o mesmo comportamento pode ser observado neste estudo. Silva e Faria (2006) relataram também que a grande variação entre os valores de acidez pode ser explicada devido ao fato que os ácidos presentes na cana-de-açúcar são ácidos orgânicos e, por isso, considerados ácidos fracos. Desta forma, mesmo presentes em grandes quantidades, não são suficientes para reduzir o pH do caldo de cana. O estágio de maturação da cana de açúcar também pode influenciar na concentração destes ácidos. Quanto mais avançado o estágio de maturação, menor a concentração de ácidos.

O caldo de cana in natura apresentou atividade de água de 0,980 e o caldo de cana em pó, 0,362. Marques et al. (2016), encontraram valor de Aw de 0,97 no caldo de cana, valor próximo ao deste estudo. Theodorovski et al. (2014) ao pesquisarem caldo de cana em pó por liofilização encontraram Aw de 1,00 no caldo de cana in natura. Um produto alimentício com Aw em torno de 0,300 é bastante estável a reações microbiológicas, reações de oxidação, e reações de escurecimento. Quanto maior o valor de Aw do produto (classificada de 0-1, em que 1 representa a água pura), maior a velocidade dessas reações, ou seja, maior o risco de deterioração dos alimentos (Barbosa-Cánovas et al., 2003).

O ISA do produto desidratado foi de 100%. Marques et al. (2016) encontraram valores de 100% para o produto desidratado em forma de flocos e na forma de pó o valor encontrado foi de 90, 53%. Observou-se que os valores do ISA encontrados neste trabalho foram valores superiores aos valores encontrados por Wang et al. (2000) em extratos hidrossolúveis de soja e arroz (50:50), ISA = 22,28%.

Os valores de croma b* foram de 8,05 e 25,22 para o caldo de cana e para o caldo de cana em pó respectivamente. Theodorovski et al. (2014) encontraram valores 7,54, 12,23 e 13,58 para caldo de cana, caldo de cana em pó e caldo de cana em pó com limão. Valores elevados de L* indicam uma cor mais clara e valores mais altos de b* correspondem a uma cor mais amarelada. O croma b* apresentou aumento para os caldos de cana em pó, em relação ao caldo de cana in natura, verificado também no presente estudo, mostrando uma coloração mais amarelada que o caldo de cana in natura.

Todos os teores de minerais estudados apresentaram diferença significativa entre as amostras. Theodorovski et al. (2014) determinaram o teor de cálcio para o caldo de cana e caldo de cana em pó e encontraram valores de 227 e 594 $mg.kg^{-1}$, respectivamente. Esses autores estudaram também a concentração de ferro para o caldo de cana, caldo de cana em pó e caldo de cana em pó com limão, e os valores encontrados foram de 34,78 $mg.kg^{-1}$, 112,44 $mg.kg^{-1}$ e 112,85 $mg.kg^{-1}$ respectivamente. Nogueira et al. (2009), encontraram 2,30 e 31,0 mg. $Kg^{-1}$ de ferro em melados fabricados com caldo de cana. Neste trabalho foram encontrados valores maiores para o caldo de cana in natura, sendo que a variedade da cana de açúcar pode ser a explicação para a diferença nos valores.

A concentração de compostos fenólicos totais foi de 2,69 e 27,91 mg GAE/g para o caldo de cana in natura e para o caldo de cana em pó, respectivamente. Molina-Cortés et al. (2019) encontraram valores de 2,67 ± 0,04 mg GAG/g para o do caldo de cana, valor próximo encontrado neste trabalho, e no melaço de cana observaram valores que variaram de 13,91 ± 0,36 e 19,40 ± 0,54 mg GAE/g, respectivamente.

## 4. CONCLUSÃO

Em geral foi observada diferença significativa entre as propriedades físico-químicas do caldo de cana in natura e do caldo de cana em pó. Os pós se apresentaram como boas fontes de minerais e de compostos fenólicos. O pó apresentou menor atividade de água, garantindo uma estabilidade por maior período. Além disso, pode ser reconstituído de maneira rápida e fácil. Pode-se concluir que o processo de liofilização utilizado é uma técnica viável para ser utilizada em caldo de cana in natura.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official methods of analysis of the Association the Analytical Chemists International. 16. ed. Arlington, 1995.

Barbosa-Cánovas, et al. 2003. Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. Roma: *Food and agriculture organization of the united nations (FAO*).

Belmonte-Sánchez, J. R. et al. 2018. Rum classification using fingerprinting analysis of volatile fraction by headspace solid phase microextraction coupled to gas chromatographymass spectrometry. *Talanta***.** Vol. 187, p. 348-356.

Bhattacharjee, C. et al. 2017. Fruit juice processing using membrane technology: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Vol. 43, p. 136- 153.

BRASIL. Resolução de Diretoria Colegiada número 272, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 23 set. 2005.

Bodunrin, M. O. et al. 2018. The availability of life-cycle assessment, water footprinting, and carbon footprinting studies in Brazil. *International Journal Life Cycle Assessment*. Vol. 23, p. 1- 7.

Caldeira-Pires, A. et al. 2018. Implications of removing straw from soil for bioenergy: an LCA of etanol production using total sugarcane biomass. *Journal of Cleaner Production*. Vol.181, p. 249-259.

Cano-Chauca. M. et al. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. Vol. 6, p.420-428.

Chauhan, A. K.; Patil, V. 2013. Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. *Powder Technology*. Vol. 239, p. 86–93.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra Brasileira, cana-de-açúcar***:** Quarto levantamento, abril de 2019-safra 18/2019. 2019. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 29 abril 2019.

Colombo. R. et al. 2006. Determination of flavonoids in cultivated sugarcane leaves, bagasse, juice and in transgenic sugarcane by liquid chromatography-UV detection. *Journal of Chromatography A.* Vol. 1103, n. 1, p. 118-124.

de Souza, A. P. 2014. Sugarcane as a bioenergy source: history, performance and perspectives for secong generation bioethanol. *Bioenergy Research*.Vol. 7, p. 24–35.

Duarte-Almeida. J. M. et al. 2006. Antioxidant activity of phenolics compounds from sugar cane (*Saccharum officinarum L.*) juice. *Plant Foods for Human Nutrition*. Vol. 61, p. 187-192.

Du, C. et al. 2018. Enriching the results of screening social life cycle assessment using content analysis: a case study of sugarcane in Brazil. *International Journal Life Cycle Assessment*. Vol. 24, p. 1-13.

Faria, J. A. F. e Silva, K. S. 2006. Avaliação da qualidade de caldo de cana envasado a quente e por sistema asséptico. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 26, p. 754-758.

Farias, S. et al. 2011. Characterization of xanthan gum produced from sugar cane broth. Carbohydrate Polymers. Vol. 86, p. 469-476.

Ferrari, C. C. et al. 2012. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. *Brazilian Journal of Food Technology*, Vol. 15, n. 2, p. 157-165.

Goldemberg, J. 2008. The Brazilian biofuels industry. *Biotechnology for Biofuels*. Vol. 1, p. 1–7.

Graumlich, T. R. et al. 1986. Asseptically packaged orange juice and concentrate: a review of the influence of processing and packaging conditions on quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.34, p.402-405.

Nayaka, M.A. H. et al. 2009. Cytoprotective and antioxidant activity studies of jaggery sugar. *Food Chemistry.* Vol, 115, p. 113–118.

Jaffé, W. 2015. Nutritional and functional components of non centrifugal cane sugar: a compilation of the data from the analytical literature. *Journal Food Composition and analisys.* Vol. 43, p. 194–202.

Kadam. U. S. et al. antioxidant activity in sugarcane juice and its protective role against radiation induced dna damage. *food chemistry*. Vol. 106, p. 1154-1160, 2008.

Katare, V. D. e Madurwar, M. V. 2017. Experimental characterization of sugarcane biomass ash – a review. Construction and Building Materials.Vol. 152, p. 1-15.

Kunitake, M. T. 2012. *Processamento e estabilidade de caldo de cana acidificado*. Pirassununga: p. 129.

Latimer, G. W. 2016. Official methods of analysis: *of AOAC international*. ed. 20. Maryland: AOAC. Vol. 2.

Marques, G. M. R. et al. 2016. Secagem de caldo de cana em leito de espuma e caracterização físico-química do produto. *Brazilian Journal of Food Research*. Vol. 7, p. 19-29.

Marques, L. G. et al. 2009. Rehydration characteristics of freezedried tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*. Vol..42, p.1232-1237.

Molina-Cortés, A. 2019. Spectrophotometric estimation of total phenolic content and antioxidant capacity of molasses and vinasses generated from the sugarcane industry. *Waste and biomass valorization*. Vol. 10, p. 1-11.

Nogueira, F. S. dos. et al. 2009. Minerais em Melados e em Caldos. *Ciência e Tecnologia em Alimentos.* Vol. 29, p. 727-731.

Oliveira, A. C. G. de. 2007. Efeitos do processamento térmico e da radiação gama na conservação de caldo de cana puro e adicionado de suco de frutas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 27, p. 863-873.

Oliveira, G. S. et al. 2014. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental-Agriambi*, Vol. 18, n. 10, p. 1059-1064.

Ortegón. G. P. et al. 2016. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). *Science of The Total Environment*. Vol. 539, p. 410-419.

Prati, P. et al. 2005. Elaboração de bebida composta por mistura. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 25, p.147-152.

Prati, P. e Moretti, R. H. 2002. Desenvolvimento de processo para clarificação de caldo de cana para consumo. *Anais* XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre.

Río. J. C. et al. 2015. Lipophilic phytochemicals from sugarcane bagasse and straw. *Industrial Crops and Produ**cts***. Vol. 77, p. 992-1000.

Segato, S. V. et al. 2006. Atualização em produção de Cana-de-Açúcar. Piracicaba: ESALQ/USP.

Singleton, V. L. et al. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. Vol. 830, p. 152-178.

Silva, K. S. e Faria, J. de A. F. 2006. Avaliação da qualidade de caldo de cana envasado a quente e por sistema

asséptico. *Ciência Tecnologia de Alimento*. Vol. 26, p. 754-758.
Silva, K. S. 2006. Avaliação de processo de industrialização de caldo de cana-de-açúcar (*Sacharum* ssp) por enchimento a quente e sistema asséptico. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 26, p. 754-758.
Singh, A. et al. 2015. Phytochemical profile of sugarcane and its potential health aspects, *Pharmacognosy Reviews*. Vol**.** 9, p. 45–54.
Shofian, N. M. et al. 2011. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 12, n. 7, p. 4678-4692.
Suzart, C. A. G. 2009. *Desenvolvimento de tecnologia para estabilização física, sensorial e microbiológica de caldo de cana*. Dissertação (mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
Theodorovski, D. C. et al. 2014. Caracterização de caldo de cana liofilizado. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais***.** Vol. 16, n. 4, p.369-376.
Wang, S. H. et al. 2000. Absorção de gordura, solubilidade e propriedades espumantes dos extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Vol. 20, n. 2, p. 187-191.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EFEITO DO ALUMÍNIO TÓXICO NO SISTEMA RADICULAR DE PLÂNTULAS DE SOJA

**Elias Cara Zen**
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim**
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
**eliascarrazen@hotmail.com**

**Antonio Sergio do Amaral**
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim**
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
**asamaral@uricer.edu.br**

**Paulo Sérgio Gomes da Rocha**
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim**
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
**rocha@uricer.edu.br**

**Amito José Teixeira**
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim**
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
**amito@uricer.edu.br**

**Jardes Bragagnolo**
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim**
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
**jardes@uricer.edu.br**

**John Edson Chiodi**
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões | URI Erechim**
Avenida Sete de Setembro, 1621 | CEP 99709-910 | Erechim-RS | Brasil
**jhonedsonmax@yahoo.com.br**

***RESUMO:*** *Os objetivos foram avaliar o comprimento e a massa do sistema radicular de plântulas de soja em solo ácido com aplicações de gesso agrícola e calcário. O experimento foi realizado em vasos e em casa de vegetação localizada na área experimental do Curso de Agronomia da URI – Erechim – RS. Após a coleta do solo, o mesmo foi secado e peneirado e em seguida acondicionado em vasos. O delineamento utilizado foi o de inteiramente casualizado. Utilizou-se quatro tratamentos com 5 repetições, T1-testemunha, T2-Gesso, T3-Calcário e T4- Calcário + Gesso. A dose de gesso foi a equivalente a 5 t ha$^{-1}$ no tratamento 2 e 2,5 t ha$^{-1}$ no tratamento 4 misturado ao calcário dolomítico. A dose de calcário dolomítico também foi a equivalente a 5 t ha$^{-1,}$ no tratamento 3 e 2,5 t ha$^{-1}$ no tratamento 4 misturado ao gesso agrícola. Com base nos resultados obtidos e nas condições em que o experimento foi conduzido pode-se concluir que não houve diferença significativa entre as aplicações isoladas de gesso agrícola e calcário dolomítico em relação as variáveis comprimento e massa seca de raízes. Porém, quando esses corretivos foram aplicados em conjunto os resultados tenderam a uma superioridade comparando-se com as aplicações isoladas.*

***Palavras-chave:*** *Acidez; Raízes; Plântulas; Casa de Vegetação.*

## 1. INTRODUÇÃO

E. C. Zen, A. S. do Amaral, P.S.G. da Rocha, A. J. Teixeira; J. Bragagnolo, J. E. Chioddi. Efeito do alumínio tóxico no sistema radicular de plântulas de soja.

A soja (*Glycine max*) pertence ao grupo das oleaginosas sendo um dos grãos mais produzidos no mundo. Grande parte do aumento da produção se deve ao aumento populacional global e a grande demanda do mercado devido a diversidade do seu uso. Caracterizada por ser um dos pilares da economia brasileira, vem sendo melhorada geneticamente a cada ano, visando maior qualidade da semente e, consequentemente, maiores rendimentos (IBGE, 2008).

A soja que é cultivada nos dias atuais é completamente diferente de como era no passado. As primeiras plantas se desenvolveram na costa leste da Ásia e nas margens do rio Yangtse na China, sendo cultivada como plantas rasteiras. Originou-se devido ao cruzamento natural de duas plantas de soja selvagem sendo este cruzamento domesticado primeiramente pelos chineses (EMBRAPA SOJA, 2019).

O alcance do alto potencial de rendimento das lavouras de soja depende, primeiramente, do conhecimento detalhado do crescimento e do desenvolvimento da cultura, da variedade a ser utilizada, de seu potencial genético, das suas exigências edafoclimáticas e nutricionais em diferentes situações de cultivo (THOMAS; COSTA, 2010). Para aumentar o potencial produtivo e obter maior ganho na produção de soja deve-se levar em conta várias questões, incluindo o conhecimento total do desenvolvimento da cultura que irá trabalhar, grupo de maturação para determinar a melhor época e densidade de semente para realização da semeadura (THOMAS; COSTA, 2010).

Há fatores que são limitantes para o desenvolvimento da cultura como o alto nível de acidez no solo em decorrência a toxidez causada por alumínio (Al) e baixa saturação por bases (GIANELLO et al., 2004). A toxidez por Al é predominante em solos altamente lixiviados, como os latossolos, que possuem baixo pH, baixa CTC e alta saturação por Al trocável. Além disso, também apresentam baixos teores de fósforo (RAIJ, 2011). A maioria das plantas comerciais são muito prejudicadas quando os teores de Al não são corrigidos sendo, por isso, necessária a correção da acidez do solo através da calagem conforme análise química do solo.

Os primeiros relatos sobre o surgimento da cultivar de soja no Brasil datam de 1882 no estado da Bahia. Mais tarde, imigrantes japoneses foram os responsáveis por disseminar a soja no estado de São Paulo, sendo que somente em 1914 o grão chegou ao estado do Rio Grande do Sul a partir de variedades trazidas dos Estados Unidos e que melhor se adaptaram devido as condições climáticas e por ter relação semelhante ao fotoperíodo (FREITAS, 2011).

Segundo Costa Neto e Rossi (2000) no atual cenário mundial, a soja surge como cultura de maior relevância econômica devido a diversidade de usos, sendo matéria-prima de grande relevância para as agroindústrias (produção de ração para a alimentação animal e geração do óleo vegetal), indústrias de alimento e indústrias químicas, além de ser fonte alternativa de biocombustível.

A toxidez de alumínio está presente em todos os solos do Sul do Brasil que, na sua grande maioria, são naturalmente ácidos. A solubilidade do alumínio no solo e, consequentemente, sua toxidez são influenciadas por vários fatores, incluindo pH, textura, minerais predominantes, grau de intemperização, clima da região onde o solo foi formado, lixiviação e material de origem. Em geral, a toxidez de alumínio é mais comum em solos com pH em água abaixo de 5,5, sobretudo, em pH abaixo de 5, situação em que a toxidez é mais severa, principalmente quando a saturação da CTC efetiva por alumínio for maior que 50% (GIANELLO et al., 2004). O alumínio prejudica principalmente o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas, diminuindo, em consequência, a absorção de água e nutrientes pelo menor volume de solo explorado.

O calcário é um material corretivo natural da acidez dos solos que é um fator limitante da produtividade das culturas. Com a calagem é possível elevar o pH do solo, neutralizando o alumínio tóxico, adicionando cálcio e magnésio e proporcionando condições favoráveis ao crescimento do sistema radicular e absorção de água e nutrientes pelas plantas (ZANDONÁ et al., 2015).

O calcário constitui-se como um produto que se origina da estratificação de rochas calcárias que são compostas principalmente por carbonato de cálcio ($CaCO_3$), rochas essas formadas no decorrer de milhares de anos a partir do acúmulo de organismos inferiores como invertebrados e conchas no fundo dos mares, rios ou lagos subterrâneos (CARDOSO; PERES; LAMBERT, 2014).

A realização da calagem inicia com a avaliação de alguns indicadores do solo como pH, Al (trocável ou sua saturação) e a saturação por bases. Além disso, a análise da acidez potencial e do índice SMP, podem servir de parâmetro para determinar a dose de corretivo a ser aplicado (NOLLA; ANGHINONI, 2006).

No cultivo convencional, grande parte do calcário age efetivamente na camada de solo que varia de 0 a 20 cm, porém no sistema de plantio direto, onde geralmente a aplicação de calcário é feita apenas na superfície do solo, o composto irá reagir na camada que varia de 0 a 10 cm, de modo que para ambos os casos o sistema radicular irá predominar apenas na camada superficial do solo (CARDOSO; PERES; LAMBERT, 2014).

Segundo Vitti e Priori (2009), a aplicação superficial de calcário sobre a matéria orgânica (MO) é muito mais eficiente do que a aplicação em sistemas com baixos teores MO, pois o corretivo é capaz de elevar o pH, promovendo maior mineralização da matéria orgânica, com consequente formação de ânions. Nessa mesma perspectiva, Caires, Ferrari e Morgano (2003) salientam que no caso da soja, a menor resposta da cultura à calagem, em áreas de plantio direto, tem sido relacionada ao maior acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes na superfície do solo que reduzem a atividade do Al e, consequentemente, sua toxicidade. Além disso, o aumento na capacidade de troca de cátions do solo, devido ao maior teor de matéria orgânica, pode proporcionar concentrações suficientes de cátions trocáveis, mesmo em solo com alta acidez.

O gesso agrícola tem sido utilizado para minimizar problemas de acidez dos solos, tendo em vista que age na redução da toxidade por Al, precipitando-o e fazendo com que fique em formas menos tóxicas, além de aumentar os teores de Ca e S no subsolo (ZANDONÁ et al., 2015). O gesso promove aumento nos teores de Ca e diminuição da saturação por alumínio em subsuperfície, promovendo maior desenvolvimento do sistema radicular, com consequente melhora na absorção de água e de nutrientes (VITTI; PRIORI, 2009). O gesso agrícola ou fosfogesso caracteriza-se por ser um insumo obtido através da fabricação de ácido fosfórico, composto especialmente por cálcio e enxofre. Atua com grande mobilidade ao longo do perfil do solo, podendo ainda ser lixiviado quando em solução, reduzindo a saturação por alumínio em profundidade, translocando nutrientes das camadas superficiais para as sub-superficiais, o que gera maior eficiência e área de exploração às raízes (CARDOSO; PERES; LAMBERT, 2014). Desse modo, a ação do gesso é mais profunda que a do calcário, pois movimenta-se cerca de 150 vezes mais, sendo por isso considerado um condicionador de solo e que pouco afeta o pH, compensando o efeito superficial do calcário, pois atua até no subsolo (ZANDONÁ et al., 2015).

O gesso é um subproduto derivado da fabricação de superfosfatos, no qual as rochas fosfatadas ao entrarem em contato com ácido sulfúrico formam dentro outros compostos, o sulfato de cálcio, que se caracteriza como um sal de baixa solubilidade, composto de água (15-17%), CaO (26-28%), S (15-16%); $P_2O_5$ (0,6 - 0,75%), $SiO_2$ (1,26%), fluoretos (0,63%), e óxidos de Al e F (0,37%) (KANEKO et al., 2015).

Segundo Nuernberg et al. (2005), a aplicação de gesso deve seguir a análise de solo, dando uma maior resposta do solo sob condições de deficiência hídrica, o que reflete diretamente no crescimento radicular. Conforme Zandoná et al. (2015), diversos estudos já demostraram que a não aplicação de gesso agrícola e calcário faz com que não haja alteração nos atributos químicos do solo. Especialmente com relação à toxicidade do alumínio, os autores destacam que a aplicação de gesso reduz os teores de Al devido a formação de minerais e também pela lixiviação de Al com o gesso na forma de pares iônicos ou complexos.

Dessa forma, o presente estudo amplia a discussão acerca do assunto, tendo em vista que a cultura da soja é muito representativa e amplamente cultivada nos solos da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, que são naturalmente ácidos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada na área experimental do Curso de Agronomia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus de Erechim/RS, com coordenadas geográficas de latitude 27º36’41.79’’ e longitude 52º13’46.21’’, com uma altitude de aproximadamente 696 metros e clima subtropical úmido tipo Cfa segundo Köppen.

Foram coletadas amostras do horizonte B do solo classificado como Latossolo Vermelho Alumino férrico típico no dia 28 de março de 2019. A coleta foi realizada em um corte da estrada ERS 331, km 2 (Latitude 27º14’32.53’’ e Longitude 52º14’07.97’’) próximo ao Campus II da URI. Coletou-se aproximadamente 80 kg de solo. O solo coletado foi deixado espalhado em estufa com cobertura de plástico por aproximadamente dez dias para secagem. Após esse período o solo foi peneirado em peneira com abertura de 2 mm.

Antes de aplicar os tratamentos, realizou-se a análise química do solo no Laboratório de Solos do Curso de Agronomia da URI, sendo obtidos os seguintes resultados: pH ($H_2O$) = 5,0; índice SMP = 5,3; fósforo disponível = 1,9 mg $dm^{-3}$; potássio disponível = 12,0 mg $dm^{-3}$; matéria orgânica = 3,0 g $kg^{-1}$; (H+Al) = 9,7 $cmol_c$ $dm^{-3}$; alumínio trocável = 2,6 $cmol_c$ $dm^{-3}$; cálcio trocável = 0,1 $cmol_c$ $dm^{-3}$; magnésio trocável = 0,1 $cmol_c$ $dm^{-3}$; enxofre = 59,3 mg $dm^{-3}$; zinco = 0,3 mg $dm^{-3}$; cobre = 3,1 mg $dm^{-3}$;boro = 0,1 mg $dm^{-3}$; manganês = 1,6 mg $dm^{-3}$; saturação da CTC (pH 7,0) por bases de 1,3%; saturação da CTC efetiva por alumínio = 95,2% e argila = 640 g $kg^{-1}$, determinados conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O solo foi então acondicionado em potes plásticos com 12 cm de diâmetro e volume de 2 litros. O delineamento utilizado neste experimento foi o de inteiramente casualizado. Foram utilizados quatro tratamentos com cinco repetições (Tabela 1).

Tabela 1 – Tratamentos utilizados no experimento.

| Tratamentos | | Dose t $ha^{-1}$ | Forma de aplicação |
|---|---|---|---|
| **T1** | Testemunha | 0 | |
| **T2** | Gesso | 5 | Superficial |
| **T3** | Calcário | 5 | Superficial |
| **T4** | Gesso + Calcário | 2,5 + 2,5 = 5 | Superficial |

Utilizou-se quantidade de gesso agrícola equivalente a 5 t $ha^{-1}$ no tratamento 2 e 2,5 t $ha^{-1}$ no tratamento 4. O gesso agrícola utilizado continha 18% de Ca e 13% de S. O calcário dolomítico com poder relativo de neutralização total

(PRNT) 76% utilizado foi o equivalente a 5 t $ha^{-1,}$ no tratamento 3 e 2,5 t $ha^{-1}$ no tratamento 4. O mesmo continha 38% de CaO e 18% de MgO.

Os tratamentos foram aplicados no dia 11 de abril de 2019. As quantidades equivalentes as doses por hectare tanto de gesso como de calcário foram aplicadas sem incorporação ao solo. Após, o solo foi mantido com a umidade próxima a capacidade de campo. A semeadura da soja foi realizada no dia 02 de maio de 2019 com a densidade de 5 sementes por unidade experimental. Após 15 dias da semeadura realizou-se o desbaste das plantas, deixando-se apenas uma planta por unidade experimental.

Para a realização deste trabalho foi utilizado sementes de soja da variedade 55I57RSF IPRO conhecida com ZEUS IPRO da empresa BRASMAX, sua exigência a fertilidade é de nível 4 em uma escala de 1 a 5, possui grupo de maturação 5.5, ciclo para os estados do RS e SC é de 124 dias classificado como médio e população de planta finais por hectare de 280-330 mil (BRASMAX, 2019).

O término do experimento ocorreu no dia 22 de maio de 2019, 20 dias após a semeadura. Foi coletado o sistema radicular das plântulas, tomando-se todo o cuidado para não perder nenhuma raiz. Utilizou-se uma espátula para auxiliar a retirada total da raiz, após este procedimento realizou-se a lavagem para facilitar a medição do comprimento radicular. Em seguida as plântulas foram levadas para a estufa do laboratório de química para a secagem com a temperatura de 40 graus durante 24 horas para obtenção da massa seca do sistema radicular. Logo após, foram coletadas subamostras de solo de cada unidade experimental, misturando-se as repetições por tratamento. Foram encaminhadas somente uma amostra composta por tratamento para o Laboratório de Solos da URI onde analisou-se os parâmetros químicos: pH em água, cálcio, magnésio, enxofre, alumínio e hidrogênio + alumínio.

Os resultados foram submetidos a análise de variância, comparando-se as médias pelo teste de Tukey, usando o pacote estatístico SANEST.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de comprimento e massa seca das raízes das plântulas de soja estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente, e os resultados das análises químicas do solo ao término do experimento estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 2 – Comprimento de raízes de plântulas de soja submetida aos diferentes tratamentos testados. Média de quatro repetições.

| Tratamentos | Comprimento de raiz (cm) |
|---|---|
| T1 Testemunha | 6,97[b] |
| T2 Gesso agrícola | 8,70[ab] |
| T3 Calcário | 9,32[ab] |
| T4 Calcário + Gesso | 11,44[a] |
| Média | 9,10 |
| C.V. (%) | 14,73% |

As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro; CV: coeficiente de variação.

Tabela 3 – Massa seca de raízes de plântulas de soja submetida aos diferentes tratamentos testados. Média de quatro repetições.

| Tratamentos | Massa Seca de raiz (g) |
|---|---|
| T1 Testemunha | 0,03[b] |
| T2 Gesso agrícola | 0,10[ab] |
| T3 Calcário | 0,10[ab] |
| T4 Calcário + Gesso | 0,14[a] |
| Média | 0,09 |
| C.V. (%) | 27,88% |

As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro; CV: coeficiente de variação.

Tabela 4 – Parâmetros químicos do solo avaliados logo após a coleta das plântulas de soja ao final do experimento. Média de cinco repetições.

| Tratamento* | pH ($H_2O$) | Ca $cmol_c\ dm^{-3}$ | Mg $cmol_c\ dm^{-3}$ | Al $cmol_c\ dm^{-3}$ | (H + Al) $cmol_c\ dm^{-3}$ | S $mg\ dm^{-3}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 5,0 | 0,1 | 0,1 | 2,6 | 9,7 | 59,3 |
| T2 | 4,4 | 5,5 | 0,3 | 2,0 | 4,4 | 65,6 |
| T3 | 5,5 | 3,6 | 2,1 | 0,0 | 2,8 | 58,7 |
| T4 | 5,3 | 3,8 | 2,3 | 1,0 | 3,9 | 58,1 |

* 1. Testemunha; 2. Gesso agrícola; 3. Calcário; 4. Calcário + gesso agrícola.

O comportamento das variáveis comprimento e massa seca das raízes das plântulas de soja foi muito semelhante em relação a resposta aos tratamentos aplicados. Como era de se esperar, no tratamento 1 (Testemunha) as plantas sofreram com a toxidez de alumínio, pois o solo utilizado apresentava 2,6 $cmol_c\ dm^{-3}$ de alumínio trocável o que correspondia a 95,2% de saturação da CTC efetiva pelo alumínio considerado tóxico para as principais culturas comerciais (Tabela 4).

No tratamento 2, envolvendo a aplicação de gesso agrícola em quantidade equivalente a 5 t $ha^{-1}$ esperava-se um resultado mais consistente, embora o resultado obtido seja diferente da testemunha. Segundo a literatura o sulfato de cálcio (CaSO4) conhecido como gesso agrícola ameniza a toxidez de alumínio, apesar de não corrigir o pH do solo (AMARAL et al., 2006).

No tratamento 3, utilizou-se a aplicação de calcário dolomítico em quantidade equivalente a 5 t $ha^{-1}$ suficiente para elevar o pH em água de 5,0 para 6,0 conforme as recomendações do Manual de Adubação de Calagem para o RS e SC (SBCS, 2016), porém, conforme a Tabela 4 o pH elevou-se somente para 5,5 o que está de coerente com o pouco tempo decorrido desde a aplicação. Quando o pH em água do solo atinge valores acima de 5,5 o alumínio trocável tende a desaparecer do sistema passando para outras formas que não são tóxicas (ERNANI, 2008) o que realmente foi confirmado (Tabela 4).

Os resultados das duas variáveis de plântulas encontrados com a aplicação isolada do calcário foram semelhantes ao encontrado somente com gesso agrícola, diferindo apenas da testemunha. Esperava-se que com o calcário, os resultados seriam bem superiores aos do gesso, porém, como o tempo decorrido da aplicação foi muito curto e considerando que o calcário apresenta cerca de 150 vezes menor solubilidade que o gesso, provavelmente o efeito na neutralização do alumínio trocável não tenha sido completado. Já no tratamento 4, quando se aplicou o gesso e o calcário em conjunto, mantendo-se a mesma dose de 5 t $ha^{-1}$, porém, considerando-se apenas 2,5 t de cada um os resultados foram mais consistentes, diferindo-se dos demais, especialmente da testemunha. Provavelmente houve uma sinergia positiva dos corretivos acentuando-se os efeitos benéficos de cada insumo apesar do pouco tempo decorrido após a aplicação.

Convém salientar que os prejuízos causados pelo alumínio tóxico nas raízes das plântulas irão afetar diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas diminuindo drasticamente o rendimento de grãos. Os dados do presente trabalho demonstram e confirmam a importância da correção da acidez do solo, especialmente a neutralização do alumínio tóxico.

Em relação aos dados apresentados na Tabela 4, os mesmos foram obtidos analisando-se uma amostra média de cada tratamento, ou seja, a amostra de solo analisada foi o resultado da mistura física das cinco repetições dos tratamentos. Dessa forma, não se realizou a análise estatística desses parâmetros. Apesar do pouco tempo decorrido desde a aplicação até o final do experimento e também pelo fato do trabalho ter sido realizado em condições controladas os dados encontrados são consistentes e coerentes com as condições de realização do experimento.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que não houve diferença significativa entre as aplicações isoladas de gesso agrícola e calcário dolomítico em relação as variáveis comprimento e massa seca de raízes. Porém, quando esses corretivos foram aplicados em conjunto os resultados tenderam a uma superioridade, comparando-se com as aplicações isoladas.

## 6. REFERÊNCIAS

AMARAL, A. S. et al. Utilização de gesso agrícola no sistema plantio direto. **Perspectiva**, n. 111, v. 30, set./2006.

CAIRES, E. F.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Produtividade e qualidade da soja em função da calagem na superfície em semeadura direta. **Bragantia**, v. 62, n. 2, 2003.

CARDOSO, J. A. E.; PERES, G. C. M.; LAMBERT, R. A. Influência da aplicação de calcário e gesso na cultura da

soja (Glycine max L. Merrill). **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, p. 1980-1988, 2014.
COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v. 23, p. 4, 2000.
EMBRAPA SOJA. **História da soja**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/ cultivos/soja1/historia> Acesso em: 02 jul. 2019.
ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O autor, 2008. 230 p.
FREITAS, M. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.
GIANELLO, C. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre, Depto. de Solos – UFRGS, 2004. 328p.
IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisas Agropecuárias, **Indicadores IBGE - Estatísticas da Produção Agrícola**, 2008.
KANEKO, F. H. et al. Doses de gesso e desenvolvimento da cultura da soja em Latossolo Vermelho argiloso em região de cerrado. **Agrarian**, v. 8, n. 29, p. 253-259, 2015.
NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 475-483, 2006.
NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. Usos do gesso agrícola. 2. ed. Florianópolis: Epagri, 2005. (Boletim técnico, 122).
RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. São Paulo: Ceres/Potafos, 2011. 343p.
SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2016. 376p.
TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Depto de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico 5).
THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. (Orgs.) **Soja**: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010.
VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Revista Visão Agrícola**, n. 9, p. 30-34, 2009.
ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

## 7. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores se responsabilizam pelo texto incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CINÉTICA DE SECAGEM DE AMORA-PRETA EM DIFERENTES TEMPERATURAS E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA

**Bethina Pascuetti Tres**
**Andressa Franco Denti**
**Julia Lisboa Bernardi**
**Carolina Elisa Demaman Oro**
**Bruna Maria Saorin Puton**
**Sérgio Henrique Mosele**
**Geciane Toniazzo Backes**
**Rogério M. Dallago**
Engenharia de Alimentos e Engenharia Química - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), 99709-910, Erechim, RS, Brasil.
bethinapascuetti@gmail.com, andressa.franco98@hotmail.com, julialisboabernardi@yahoo.com, carolinae.oro@hotmail.com, brunnaputon@hotmail.com, sergiohenriquemosele@gmail.com, gtoniazzo@uricer.edu.br, dallago@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A cinética de secagem é o acompanhamento da variação do teor de água em relação ao tempo. Este procedimento propicia a obtenção de alimentos com menores teores de água livre, agregando maior estabilidade e segurança na conservação dos produtos. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a curva de perda de umidade da polpa de amora-preta (em base seca) durante a secagem em estufa, bem como os valores de atividade de água após as secagens. A metodologia utilizada foi a cinética de desidratação normal, em uma estufa a 80°C e 100°C. Após as secagens, as amostras foram submetidas à avaliação da atividade de água por meio de um sistema de controle de temperatura integrado a um sensor infravermelho, que fornece leituras precisas do valor da atividade de água das amostras. Os resultados indicam a eficácia do processo de secagem em estufa para a remoção da água livre, encontrando valores de 0,540 para a secagem a 80°C e 0,516 para a secagem a 100 °C, ambas inferiores ao valor máximo encontrado na literatura (0,6).*

***Palavras chave:*** *Secagem, amota-preta, cinética, umidade, base seca.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os frutos da amoreira-preta fazem parte da família *Rosaceae* e ao gênero *Rubus*, que apresenta uma enorme variedade, abrangendo aproximadamente 400 espécies, com destaque para a amoreira e a framboesa. Com origem no hemisfério norte, estão difundidas pela América do Norte, América do Sul, Europa, África e Ásia. É uma planta herbácea e perene, apresentando ou não espinhos. A floração acontece próximo ao começo da primavera e se estende ao longo de algumas semanas, parcialmente concomitante com a colheita (Antunes, 2004; Pereira *et al*., 2014).

Um dos fatores de destaque para a escolha das regiões de cultivo da amoreira-preta no Brasil é o clima. A influência dele sobre o cultivo dependerá da fase de desenvolvimento no qual a planta se encontra. Geralmente, a amora-preta apresenta bom crescimento em regiões que possuam temperaturas moderadas durante o verão, onde a intensidade luminosa seja baixa e sem excesso de chuvas durante a frutificação, além de temperaturas baixas no inverno, suficientes para suprir a necessidade de frio (Herter; Wrege, 2004).

A introdução da amora-preta no Brasil aconteceu na década de 70, no município de Pelotas (RS), a partir da Estação Experimental de Pelotas, conhecida atualmente como Embrapa Clima Temperado. Depois de sua introdução, seu cultivo segue aumentando nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, com o cultivo de novas cultivares (Antunes, 2002). As amoras estão disponíveis na forma fresca (*in natura*) e também congeladas e processadas termicamente na forma de geleias, sucos, polpa, entre outros produtos (Antunes, 2002; Mota, 2006). O interesse pelo consumo da amora-preta e da framboesa continua crescendo ao longo do tempo, principalmente devido a esses frutos possuírem elevados teores de compostos fenólicos e carotenoides, que ajudam no combate a doenças degenerativas (Guedes *et al*., 2013; Souza *et al*., 2014; Curi *et al*., 2014).

O frio é um ponto determinante na fase de dormência, para que um índice de brotação de qualidade seja alcançado. Quando o índice de brotação ocorre fora desse período, podem ocorrer como consequência danos às gemas, flores e frutos que estão se desenvolvendo. A temperatura em conjunto com a precipitação possui influencia também na

qualidade das gemas, que será fundamental para a produção do ano seguinte. Por ser uma planta cultivada e com bom desenvolvimento em clima temperado, geralmente apresenta boa resistência a geada, comportamento diferente de outras espécies de frutas pequenas, que se adaptam com maior facilidade em condições climáticas do Sul do Brasil quando desenvolvidas através de melhoramento genético na Embrapa, em Pelotas-RS, com base em cultivares que apresentam adaptação a altas temperaturas no verão e menor necessidade de horas de frio no inverno (Herter; Wrege, 2004).

No Rio Grande do Sul, que possui clima temperado úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen, obteve-se uma produtividade de cerca de 15.200 $kg.ha^{-1}$ com a cultivar de amoreira-preta 'Ébano' (Raseira *et al*., 2007) e 5.169 $kg.ha^{-1}$ com a cultivar 'Tupy' (Antunes *et al*., 2010). Essa fruteira se adéqua com facilidade em climas subtropicais, onde algumas cultivares possuem maiores produtividades em comparação às regiões com temperaturas mais baixas e até mesmo com qualidade superior dos frutos (Guedes *et al.,* 2013).

A amoreira-preta caracteriza-se por possuir frutos com uma elevada qualidade nutricional, e significativo valor econômico (Antunes, 2002). Possuem boas quantidades de vitamina C, apresenta cerca de 85% de água e 10% de carboidratos, vitaminas do complexo B e A, também é fonte de compostos funcionais, como ácido elágico e antocianinas, além de ser rica em fibras e ácido fólico (Moreno-Alvarez *et al*., 2002). As frutas da amoreira preta contêm ainda ácidos graxos essenciais, como por exemplo, o linoléico e o linolênico. Esses compostos possuem influência em várias funções do corpo, como pressão arterial, viscosidade sanguínea, imunidade e resposta inflamatória (Pawlosky *et al*., 1996).

Outros compostos de destaque em amoreiras-pretas são os pigmentos naturais, como as antocianinas, que dão a coloração atraente e característica do fruto no seu processamento, especialmente para elaboração de produtos lácteos, geléias e doces em calda (Guedes *et al*., 2014; Maro *et al.,* 2014).

A secagem pode ser definida como a eliminação da água do material através da evaporação. Existem dois tipos de secagem para alimentos: a natural, feita pelo sol ou vento; e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia artificial (Park, Yado e Brod, 2001).

Um parâmetro de grande importância no crescimento microbiano é a atividade de água, pois mostra a medida da quantidade de água livre (água não ligada) que o alimento possui disponível para reações químicas, bioquímicas e desenvolvimento microbiológico. Dessa maneira, está relaciona-se com a conservação do alimento. Valores pequenos de atividade de água (0,6) em alimentos caracterizam condições microbiológicas estáveis, agregando maior segurança à conservação do produto (Hoffmann, 2001).

De maneira geral, a secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de se vaporizar certo conteúdo de água deste material, obtendo-se um produto sólido seco. Portanto, trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (Barbanti, Mastrocola e Pizzarani, 1995). A cinética de secagem é controlada pelas características da matriz do alimento e pelas variáveis de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (Singh e Heldman, 2009).

Os níveis de alteração da qualidade durante o processo de secagem de alimentos são fortemente dependentes da temperatura, do tempo e do conteúdo de umidade. A cinética de secagem fornece o histórico desses três fatores, sendo uma importante informação para o design de secadores e para o processamento, minimizando os efeitos adversos da qualidade do produto final (Ade-Omowaye*et al.,* 2003).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a curva de umidade da amora-preta (em base seca) durante a secagem em estufa, utilizando as temperaturas de 80 e 100 °C, bem como as respectivas atividades de água.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Colheita e armazenamento dos frutos

Os frutos de amora-preta (cultivar Cherokee) foram colhidos em novembro de 2018. Uma amostra de galho com folhas e frutos foi incorporado no Herbário Pe. Balduíno Rambo (HPBR), na URI- Erechim, sob o número de registro de exsicata 12293. A Figura 1 mostra a amoreira-preta, com o galho carregado de frutos. Os frutos colhidos e utilizados no presente estudo foram os em estágio completo de maturação (coloração lilás).



Figura 1. Amoreira-preta (cultivar Cherokee), com o galho carregado de frutos.
Fonte: Os Autores.

Imediatamente após a colheita, os frutos foram selecionados de forma manual e lavados em água potável corrente. Logo após, foram imersos em solução de NaClO a 200 ppm durante 15 minutos. Decorrido este período, os frutos lavados novamente e secos com auxílio de papel toalha. Posteriormente, os frutos foram acondicionados em embalagens de polietileno, e identificados com peso e data de colheita, e por fim, foram submetidos ao congelamento à – 20 ºC até o início das análises.

### 2.2 Secagem

A desidratação foi realizada em estufa com circulação de ar (Marca Marconi, modelo MA 037, Brasil). Para as curvas de secagem a 80 e 100°C, as amostras foram dispostas separadamente em papel alumínio e levadas à estufa.

A cinética de secagem foi acompanhada, através da perda de massa em relação ao tempo, pesando-se o material a intervalos regulares de 10 min até massa constante, em balança analítica (Toledo, modelo 9094-1), com 0,005g de precisão. Cada amostra continha aproximadamente 4 g. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

O cálculo para a quantidade de sólidos (% de base seca) é apresentado na Equação 1.

$$U(\%\ b.s.) = 100 - \left(\frac{massa\ inicial - (massa\ inicial - massa final)}{massa\ incial} x100\right) \quad (1)$$

### 2.3 Determinação da atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada utilizando o equipamento LabTouch (NOVASINA) em que, por meio de um sistema de controle de temperatura integrado a um sensor infravermelho, fornece leituras precisas do valor da atividade de água das amostras.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados experimentais, construiu-se a curva de umidade, em base seca, e os dados são apresentados na Figura 2 para as duas temperaturas em estudo. Observa-se que os valores se encontram em concordância e seguem o mesmo padrão de secagem.

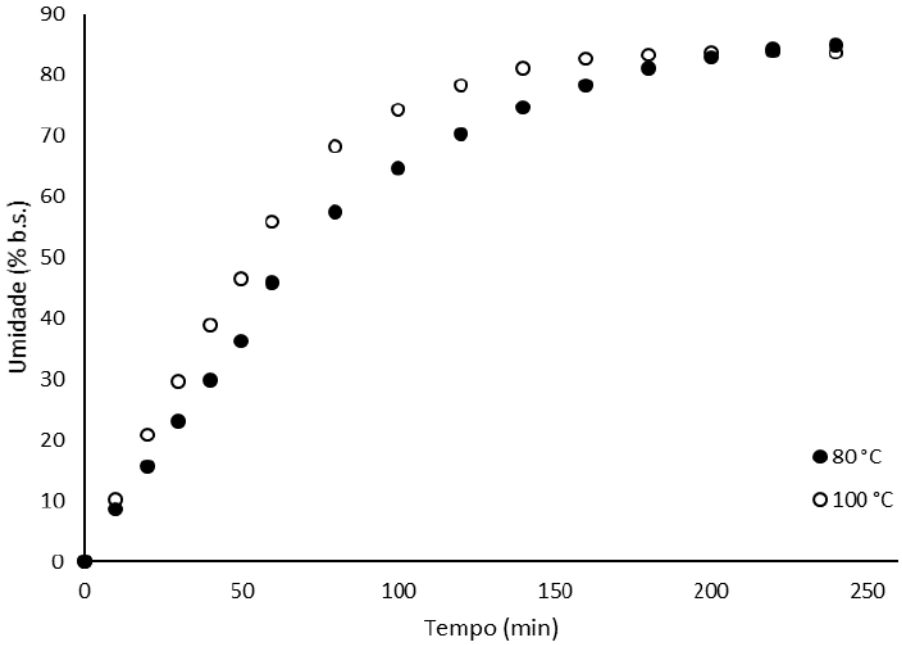



Figura 2. Cinética de umidade de amora-preta (em base seca) durante secagem em estufa a 80 e 100°C.

Ao analisar a Figura 2 verificou-se o aumento da porcentagem de base seca das amoras-pretas. No tempo de 240 minutos ambas as curvas de secagens apresentavam teores de base seca maiores que 80%, além de já apresentarem menores variações e perda de massa, chegando próximo a seu ponto de estabilidade.

Na secagem a 100°C a perda de água chegou a aproximadamente 68% nos 100 primeiros minutos do processo, estabilizando logo em seguida aos 150 minutos apresentando aproximadamente 80% de base seca. A secagem a 80°C aos 100 minutos estava com cerca de 65% de base seca, chegando a estabilidade minutos depois, com 180 minutos da cinética.

É possível observar que a secagem a 100°C apresentou uma perda de água maior em relação a 80°C, o que era esperado, visto que a temperatura é a variável de maior influência no processo. Almeida *et al*. (2006), verificou-se que a perda do conteúdo de umidade é mais lenta no início do processo de secagem, cuja estabilização ocorre num período de tempo de aproximadamente 200 minutos, resultado este semelhante ao encontrado no presente estudo.

Resultado similar à perda do conteúdo de umidade mais rápida no início do processo de secagem também foi verificado por Gouveia *et al.* (2003) e Meloni, (2003), sendo também observada uma maior taxa de secagem quanto mais elevada é a temperatura de secagem em velocidades de ar equivalentes a 1,0 m/s e 1,5 m/s.

Os resultados apresentam a redução do conteúdo de água livre de um alimento, fato esperado, já que o objetivo da secagem é a redução do teor de água de um produto (Bobbio; Bobbio, 2001).

A Figura 3 apresenta o aspecto visual obtido para as amoras-pretas antes e após as secagens nas temperaturas de 80 e 100 °C.

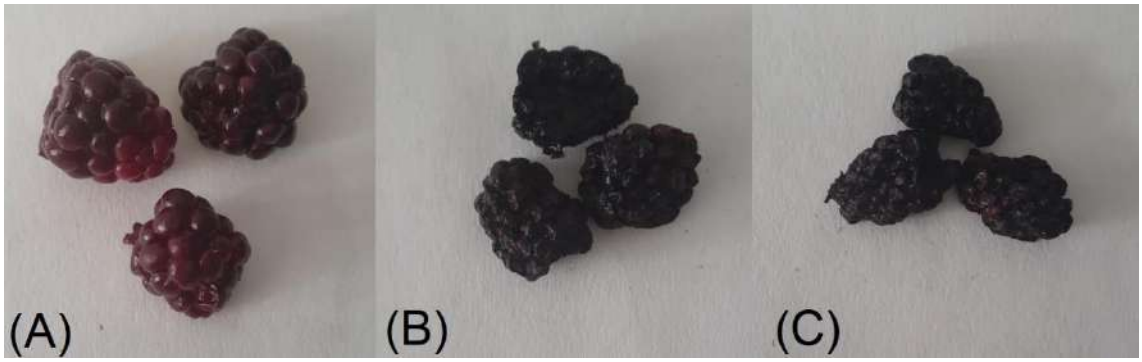



Figura 3. Aspecto visual amoras-pretas em (A) antes do processo de secagem, (B) após a secagem a 80 °C e em (C) após a secagem a 100 °C.

Ao analisar a Figura 3, verificou-se o escurecimento das amostras após a secagem, bem como a diminuição do seu diâmetro. Segundo Celestino (2010), que avaliou o processo de secagem em abacaxis, é comum que isso ocorra, pois os vegetais apresentam a enzima polifenoloxidase (PPO), que quando ativada com a exposição das partes internas do fruto ao oxigênio, causa o escurecimento do mesmo. As temperaturas utilizadas nos procedimentos de secagem aceleram essa reação enzimática, justificando a coloração apresentada no final da secagem.

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para a atividade de água presente nas amoras-pretas *in natura* e após o processo de secagem.

Tabela 1. Atividade de água em amostras de amora-preta *in natura* e no final da secagem a 80 e 100 °C.

| Amostra | Atividade de água (25°C) |
|---|---|
| *In natura* | 0,949 |
| Secagem 80 °C | 0,540 |
| Secagem 100 °C | 0,516 |

De acordo com a Tabela 1, ambas as amostras apresentaram valores de atividade de água inferiores a 0,6 após as secagens a 80 e 100°C, obtendo-se assim um produto mais estável em comparação a sua forma *in natura*, que apresenta um valor 58,2% acima da quantidade apresentada pela literatura como boa para a estabilidade de alimentos (Hoffmann, 2001).

Ensaios anteriores com cascas de abacaxi mostraram a redução da atividade de água como consequência do processo de secagem em estufa, atestando o êxito desse procedimento na diminuição dos teores de água livre em alimentos (Barreiro; Chaves e Garcia, 2016), tendo em vista que produtos alimentícios que apresentam atividade de água inferior a 0,6 impedem a proliferação de micro-organismos, agregando maior segurança para a conservação do produto (Bobbio, 2001).

Diversas tecnologias e procedimentos podem ser aplicados para conservar as frutas, um dos exemplos mais importantes é o processo de secagem. O método de secagem é o mais antigo de preservação de alimentos, que consiste em remover a água livre presente no alimento, fazendo com que não ocorra o desenvolvimento de micro-organismos que crescem na umidade (Mujumdar, 2006). Pode-se manipular a cinética de secagem através das características da matriz do material e pelas variáveis, como temperatura, velocidade e umidade relativa do ar.

## 4. CONCLUSÃO

Após a cinética de secagem de amora-preta em estufa nas temperaturas de 80 e 100 °C, foram encontrados valores de atividade de água de 0,540 para a secagem a 80°C e 0,516 para a secagem a 100°C, ambos inferiores ao valor máximo encontrado na literatura (0,6), comprovando a eficácia do método de secagem para a eliminação da água livre em alimentos, obtendo-se produtos desidratados, com menor peso e volume, reduzindo assim custos com embalagens, transporte e armazenamento, bem como aumentando a estabilidade dos alimentos e facilitando sua conservação.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim.

## 6. REFERÊNCIAS

Ade-Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A. e Knorr, D. 2003. Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air dryingbehaviour of red bell pepper. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 60, n. 1, p. 89-98.

Almeida, F.A. C., Gouveia, J.P.G. de., Almeida, F.deA.C. e Silva, F.L.H. 2006. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, p.145–151.

Antunes, L.E.C., Gonçalves, E.D. e Trevisan, R. 2010. Fenologia e produção de cultivares de amoreira-preta em sistema agroecológico. *Ciência Rural*, v.40, n.9, p.1929-1933.

Antunes, L.E.C. Características da fruta da amoreira-preta. 2004. In: *Antunes, L.E.C.; Raseira, M.C.B. (Eds.). Aspectos técnicos da cultura da amora-preta. Pelotas: Embrapa Clima Temperado*, p.43-44. Embrapa Clima Temperado. Documentos, 122.

Barbanti, D., Mastrocola, D. e Pizzarani, S. 1995. Air drying of plums influence of some process parameters on the specific drying kinetics. *Sciences dês Aliments*, Paris, v. 15, p. 19-29.

Barreiro, N., Chaves, M.A. e Garcia, C.C. 2016. Cinética de secagem de cascas de abacaxi. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC*, 2016.

Bobbio, P.A. e Bobbio, F.O. 2001. *Química do Processamento de Alimentos*. 3ª ed. São Paulo: Editora Varela.143p.

Celestino, S.M.C. 2010. *Princípios de Secagem de Alimentos.* Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária – Embrapa.

Curi, P.N., Pio, R., Moura, P.H.A., Lima, L.C.O. e Valle M.H.R. 2014. Qualidade de framboesas sem cobertura ou cobertas sobre o dossel e em diferentes espaçamentos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.36, n.1, p.199-205.

Gouveia, J.P.G., Almeida, F.A.C., Farias, E.S., Silva, M.M., Chaves, M.C.V. e Reis, L.S. 2003. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. Especial. 1:65-68.

Guedes, M.N.S., Maro, L.A.C., Abreu, C.M.P., Pio, R. e Patto, L.S. 2014. Composição química, compostos bioativos e dissimilaridade genética entre cultivares de amoreira (*Rubus* spp.) cultivadas no Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.36, n.1, p.206-213.

Hoffmann, F. L. 2001. HIGIENE - Fatores limitantes à proliferação de microorganismos em alimentos. *Brasil Alimentos*, n. 9.

Maro, L.A.C., Pio, R., Guedes, M.N.S., Abreu, C.M.P. e Moura, P.H.A. 2014. Environmental and genetic variation in the post-harvest quality of raspberries in subtropical areas in Brazil. *Acta Scientiarum*. Agronomy, Maringá, v.36, n.3, p.323-328.

Meloni, P.L.S. 2003. *Desidratação de frutas e hortaliças*. Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – Frutal. Fortaleza/Ceará, 87 f.

Mota, R.V. 2006. Physico and chemical characterisation of blackberry jam. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, v.26, p.539-543.

Mujumdar, A. S. 2006. *Handbook of industrial drying*. CRC Press, 3 ed.

Park, K.J., Yado, M.K.M. e Brod, F.P.R. 2001. Estudo de secagem de pêraBartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 21, n. 3, p. 288-292.

Pawlosky, R.J., Ward, G. e Salem, N.Jr. 1996. Essential fatty acid uptake and metabolism in the developing rodent brain. *Lipids*, v. 31, suppl, p.S103-S107.

Pereira, I.S., Picolotto, L., Correa, A.P.A., Raseira, M.C.B. e Antunes, L.E.C. 2014. *Informações técnicas de cultivares de amoreira-preta*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado.

Raseira, A., Raseira, M., Antunes, L.E. e Pereira, J.F. 2007. Influência da densidade de plantio na produtividade de cultivares de amoreira-preta. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.13, n.4, p.551-554.

Singh, R.P. e Heldman, D.R. 2009. *Introduction to Food Engineering*. Elsevier, ed. 4.

Wrege, M.S. e Herter, F. G. 2004. *Aspectos Técnicos da Cultura da Amora-preta: Condições de clima*. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária – Embrapa.

## 7. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste papel.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# QUANTIFICAÇÃO DE VITAMINA C EM SUCOS DE LARANJA COMERCIALIZADOS EM ERECHIM-RS

**Bethina Pascuetti Tres**
**Andressa Franco Denti**
**Julia Lisboa Bernardi**
**Carolina Elisa Demaman Oro**
**Marcelo L. Mignoni**
**Rogério M. Dallago**
**Luciana D. Venquiaruto**

Engenharia de Alimentos e Engenharia Química - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), 99709-910, Erechim, RS, Brasil.
bethinapascuetti@gmail.com, andressa.franco98@hotmail.com, julialisboabernardi@yahoo.com, carolinae.oro@hotmail.com, mignoni@uricer.edu.br, dallago@uricer.edu.br, venquiaruto@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Os humanos fazem parte do grupo de seres vivos que não são capazes de sintetizar vitamina C, e a mesma possui importância para o organismo, atuando com função antiescorbútica, síntese do colágeno, absorção do ferro e cura de resfriados. Dessa forma, torna-se necessária uma ingestão adequada dessa vitamina, e assim, os dos sucos frescos* in natura *são uma das melhores opções para ingerir a quantidade necessária de vitamina C diária. Objetivou-se nesta pesquisa analisar o teor de ácido ascórbico em dez amostras de sucos de laranja produzidos no município de Erechim - RS e comercializados em feiras livres e pequenos comércios alimentícios. Os resultados indicam que todas as amostras analisadas encontram–se dentro dos parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que institui a quantidade mínima de 25mg.100mL$^{-1}$ de ácido ascórbico. De modo geral, todos os estabelecimentos mostraram que a ingestão de apenas 1 copo de suco de laranja é suficiente para suprir as necessidades diárias de vitamina C para homens e mulheres.*

***Palavras chave:*** *Análise, vitamina C, suco natural de laranja.*

## 1. INTRODUÇÃO

A industrialização mudou o estilo de vida e os hábitos alimentares da sociedade, o que provocou maior busca por alimentos industrializados, sendo eles mais calóricos e pouco saudáveis. Os avanços tecnológicos na indústria de alimentos modificaram as práticas alimentares, ocasionando a procura pela praticidade e facilidade na alimentação (Reinaldo *et al*., 2015). Sucos artificiais são exemplos de produtos que estão disponíveis no mercado e que fazem parte da rotina dos consumidores, principalmente pelo seu fácil preparo, grande rendimento e baixo custo. No entanto, tais sucos possuem diversos componentes químicos, apresentando potencial cariogênico, aumentam o risco para o desenvolvimento da erosão dental e, ainda, são propícios a reações alérgicas. Além disso, esses produtos possuem poucos nutrientes, são ultraprocessados e ricos em aditivos (Soares, Bonvini e Farias, 2014).

O aumento no consumo de bebidas a base de frutas foi promovido pela preocupação com a saúde, o que elevou a procura por bebidas com características nutricionais importantes para a prevenção e controle de doenças. A tendência mundial de consumo é a substituição dos refrigerantes por bebidas mais saudáveis e com apelo à praticidade, gerando uma demanda por produtos naturais, orgânicos e enriquecidos. Com o mercado altamente competitivo, as indústrias de bebidas apostam na diversificação de sua linha de produtos (Figueira *et al.*, 2010).

As frutas cítricas possuem um importante papel na alimentação humana, especialmente na forma de suco e fruta fresca (Rebequi *et al*., 2009). As frutas possuem um alto valor nutritivo, sendo seu consumo diário indicado por serem fontes de vitaminas, minerais e carboidratos. As mesmas podem ser consumidas ao natural ou utilizadas em várias preparações, processadas para a produção de suco, natural ou industrializado, que buscam obter o mínimo de perdas relacionadas às suas propriedades nutricionais. Os sucos de frutas são consumidos e apreciados em todo mundo, não só pelo seu sabor, mas também por serem fontes naturais de nutrientes. Conforme Castro *et al*. (2007), são fontes de carboidratos, carotenoides, vitaminas, minerais e outros componentes importantes.

Os humanos fazem parte do grupo de seres vivos que não são capazes de sintetizar vitamina C, a mesma possui importância para o organismo, atuando com função antiescorbútica (Rosa *et al*., 2007), síntese do colágeno, absorção do

ferro e cura de resfriados (Mahan e Escott, 2010). Portanto, torna-se necessária uma ingestão adequada dessa vitamina, a maioria dos sucos frescos in natura é a melhor opção para ingerir a quantidade necessária de vitamina C diária.

As vitaminas são consideradas compostos orgânicos que se dividem em duas classes, as lipossolúveis (A, D, E e K) e as hidrossolúveis (C e do complexo B). Entre as vitaminas hidrossolúveis a Vitamina C (ácido L-ascórbico), apresenta um papel importante na suplementação diária, pois possui propriedades diversificadas que auxiliam na resistência imunológica, como suplementação de antioxidantes não enzimáticos, que têm como fonte principal os alimentos (Sarni *et al*., 2010). O ácido ascórbico é uma vitamina encontrada em vários alimentos de origem vegetal, frutas e hortaliças, tais como, laranja, pera, morango, kiwi, limão, dando-se destaque aos alimentos cítricos. O composto é solúvel em água e é um micronutriente com atividades biológicas já bem descritas (Cunha *et al*., 2014).

De acordo com Craveiro (1994), dentre as principais fontes de ácido ascórbico (AA) ou vitamina C (Figura 1) estão a laranja, goiaba, manga e a tangerina, além de outras como acerola, caju e limão. Além disso, a diferença nos teores pode ser explicada pela composição dos frutos, a qual depende de fatores como condições climáticas, tipo de cultivar, tratos culturais, estádio de maturação, entre outros, podendo ser modificada pelo armazenamento e processamento, condições estas, que irão interferir no conteúdo de AA (Carvalho e Guerra, 1995).

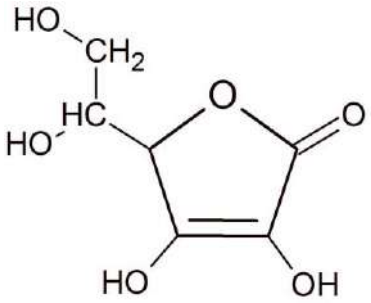



Figura 1. Fórmula estrutural do ácido ascórbico (Vitamina C).

Por ser hidrossolúvel, a vitamina C não é transportada por proteínas. Após ser administrada por via oral, ela é eliminada com uma meia-vida de 10h (Schwedhelm *et al*., 2003). A meia vida-curta está associada a doenças. O escorbuto é uma patologia classicamente relacionada à deficiência de vitamina C. A anemia também está relacionada à falta de vitamina C, pela atuação do composto na absorção do ferro inorgânico (WHO, 2001).

Embora o limite superior de ingestão (UL – upper level) de vitamina C seja de aproximadamente 1,8 g/dia para adultos, a ingestão de 1 g/dia de vitamina C já é suficiente para causar distúrbios gastrointestinais, pois metade desta dose não é absorvida. A ingesta de quantidades mais elevadas de vitamina C, tais como 5-10 g/dia, pode causar rapidamente hiperoxaluria e consequentes cálculos renais em humanos, embora o risco de cálculo já seja significativo para ingestas com mais de 1 g/dia. O potencial pró-oxidante da vitamina C em humanos é evidenciada pela resposta hemolítica apresentada por indivíduos portadores de deficiência na enzima glicose-6-fosfato desidrogenase, enzima envolvida na proteção contra estresse oxidativo nas hemácias (WHO, 2001).

Tendo em vista a importância do consumo de vitamina C em sucos naturais, objetivou-se nesta pesquisa analisar o teor de ácido ascórbico em dez amostras de sucos de laranja produzidos no município de Erechim - RS e comercializados em feiras livres e pequenos comércios alimentícios.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nas instalações da Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI).

### 2.1 Obtenção das amostras

As 10 amostras de suco de laranja artesanal *in natura* foram obtidas em pequenos comércios de produtos coloniais ao longo das rodovias do entorno da cidade de Erechim, em comércio de produtos alimentícios e em feiras da cidade de Erechim-RS. Após a coleta, as amostras foram devidamente armazenadas em uma caixa de isopor e encaminhadas para as análises no Laboratório de Química Analítica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões-Campus Erechim. As análises foram efetuadas ao passo de que as amostras eram coletadas para evitar a adulteração das mesmas, devido as condições de armazenamento e temperatura inadequadas.

### 2.2 Determinação de Vitamina C

A quantificação do teor de vitamina C foi realizado conforme o método descrito por Oliveira *et al*. (2012), com modificações e é apresentado na Figura 2. O cálculo é mostrado na Equação 1.

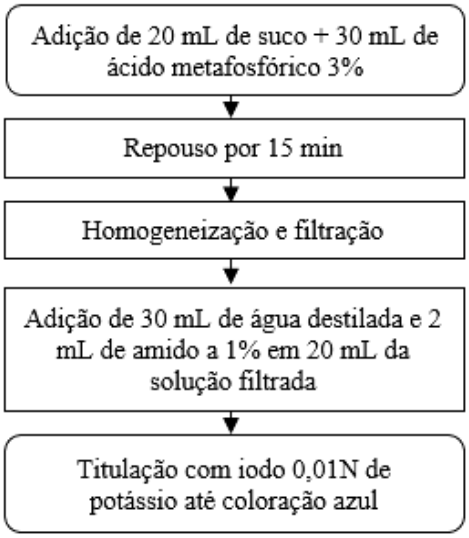



Figura 2. Determinação de vitamina C dos sucos de laranja *in natura*.

$$Vitamina\ C\ \left(\frac{mg}{100\ mL}\right) = \frac{VT\ x\ V\ x\ 0{,}8806\ x\ 100}{V1\ x\ V2} \quad (1)$$

Onde: VT = Volume de iodo gasto na titulação (mL); V = Volume da diluição (mL); V1 = Volume da amostra (mL); e V2 = Volume da solução filtrada titulada (mL).

### 2.3 Determinação da Quantidade para atingir a Recomendação

Foi realizada uma comparação dos sucos in natura em relação a quantidade (mL) a ser ingerida para atender a recomendação diária de ingestão de vitamina C, que segundo a Dietary Reference Intakes (DRI) para o sexo feminino é de 75 mg e para o sexo masculino é de 90 mg (INSTITUTE OF MEDICINE/FOOD AND NUTRITION BOARD, 2000).

### 2.4 Tratamento estatístico

Os resultados foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA), seguido de comparação das médias pelo teste de *Tukey*, com o software *Statistica* versão 5.0, com nível de confiança de 95%.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores de vitamina C encontrados para os diferentes sucos de laranja comercializados em Erechim-RS. Conforme observado, o teor de vitamina C é diferente para cada estabelecimento, com base nos resultados obtidos neste estudo o estabelecimento que oferece sucos com maior teor de vitamina C é o estabelecimento 4 (164,01 mg/100 mL).

Os resultados apresentados indicam que nenhuma das amostras de suco de laranja encontrou-se abaixo do limite mínimo estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que institui a quantidade mínima de 25mg.100mL$^{-1}$ de ácido ascórbico.

A vitamina C possui grande importância para o organismo humano, atuando com função antiescorbútica, síntese do colágeno, absorção do ferro e cura de resfriados. Portanto, torna-se necessária uma ingestão adequada dessa vitamina, a maioria dos sucos frescos *in natura* é a melhor opção para ingerir a quantidade necessária de vitamina C diária (Mahan e Escot, 2010).

Tabela 1. Valores encontrados para a análise de vitamina C proveniente de diferentes estabelecimentos em Erechim-RS.

| Estabelecimento | Vitamina C (mg/100 mL)* |
|---|---|
| 1 | $44{,}03^{f} \pm 0{,}00$ |
| 2 | $56{,}14^{de} \pm 1{,}56$ |
| 3 | $71{,}55^{c} \pm 1{,}56$ |
| 4 | $164{,}01^{a} \pm 1{,}56$ |
| 5 | $91{,}36^{b} \pm 1{,}56$ |
| 6 | $71{,}55^{c} \pm 1{,}56$ |
| 7 | $91{,}36^{b} \pm 1{,}56$ |
| 8 | $73{,}75^{c} \pm 1{,}56$ |
| 9 | $47{,}88^{ef} \pm 2{,}34$ |
| 10 | $53{,}94^{d} \pm 1{,}56$ |

*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo *teste de Tukey* ($p<0{,}05$), sendo comparadas letras minúsculas entre colunas.

Conforme a tabela TACO (UNICAMP, 2006), o teor de ácido ascórbico na laranja-baía e na laranja-pera são 94,50 e 73,30 mg.100 mL–1 de suco, respectivamente. Essas variações podem ocorrer entre as cultivares, local e ano de produção, além do grau de maturação dos frutos

Entre as soluções mais utilizadas para extrair o ácido ascórbico e também estabilizá-lo, pode-se citar o ácido oxálico ou o ácido metafosfórico 3-6% (m.v –1). Estes ácidos são capazes de prevenir a oxidação do ácido ascórbico pela ação de íons cobre (II) ou ferro (III). Ao ácido metafosfórico também é reportada a habilidade de precipitar proteínas e com isso inativar enzimas como a ácido ascórbico oxidase (Macrae e Schweigert, 1988). No presente estudo utilizou-se o ácido metafosfórico 3% e foi possível observar uma boa extração do ácido ascórbico (vitamina C).

A Tabela 2 apresenta o número de copos de sucos de laranja necessários para atingir a recomendação de ingestão diária de vitamina C para homens e mulheres. Para tanto, foi considerado que cada copo contendo um total de 200 mL de suco de laranja *in natura*.

Considerando o DRI para o sexo feminino de 75mg de ácido ascórbico e de 90mg para o sexo masculino, pode-se observar, a partir dos dados apresentados na Tabela 2, que apenas é necessária a ingestão de um copo completo de suco de laranja no estabelecimento 1 para o sexo feminino. De modo geral, todos os estabelecimentos mostraram que a ingestão de apenas 1 copo de suco de laranja é mais do que suficiente para suprir as necessidades diárias para homens e mulheres.

Os resultados encontrados nesta pesquisa podem ser atribuídos a uma boa manipulação das frutas nos estabelecimentos, além de indicar que todos os sucos possivelmente foram feitos no dia da venda.

Tabela 2. Número de copos de sucos de laranja (200 mL) necessários para atingir a recomendação de ingestão diária de vitamina C.

| Estabelecimento | Número de copos* | Número de copos** |
|---|---|---|
| 1 | 0,85 | 1,02 |
| 2 | 0,67 | 0,80 |
| 3 | 0,52 | 0,63 |
| 4 | 0,23 | 0,27 |
| 5 | 0,41 | 0,49 |
| 6 | 0,52 | 0,63 |
| 7 | 0,41 | 0,49 |
| 8 | 0,51 | 0,61 |
| 9 | 0,78 | 0,94 |
| 10 | 0,70 | 0,83 |

*****Número de copos de 200 mL baseado na a Dietary Reference Intakes (DRI) para sexo feminino, 75mg.**Para sexo masculino, 90mg de vitamina C.

Além disso, a diferença nos teores pode ser explicada pela composição dos frutos, a qual depende de fatores como condições climáticas, tipo de cultivar, tratos culturais, estádio de maturação, entre outros, podendo ser modificada pelo armazenamento e processamento, condições estas, que irão interferir no conteúdo de ácido ascórbico (Carvalho e Guerra, 1995).

A principal característica dessa vitamina é ser hidrossolúvel e termolábil, porém quando essa vitamina é adicionada nos alimentos como conservante, as qualidades nutricionais desses alimentos são mantidas durante o armazenamento e processamento (Lavarda, 2011). Outra característica importante dessa vitamina é que ela é um forte agente redutor biológico, com capacidade de reduzir os riscos de doenças não transmissíveis. Sua principal atividade é a ação como antioxidante em virtude da sua capacidade em doar elétrons e captar os radicais livres (Cozzolino, 2012).

Segundo Baierle *et al*. (2012), recomenda-se a ingestão diária de Vitamina C, visto que o organismo não sintetiza essa substância devido à inexistência da enzima L-gulonolactona oxidase que é responsável por catalisar a última etapa do ácido ascórbico. Conforme Pimentel, Francki e Gollücke (2005), há uma vasta evidência epidemiológica para os efeitos benéficos que o consumo de sucos cítricos exerce na saúde humana. Estes efeitos são atribuídos às substâncias que reduzem radicais livres e que possuem atividades antioxidantes, principalmente ácido ascórbico, flavonoides, carotenoides e derivados fenólicos.

## 4. CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo apontam para a importância do consumo de sucos frescos obtidos de frutas *in natura*. Sendo assim, torna-se fundamental esclarecer a população sobre os benefícios advindos da ingestão de frutas tanto na forma de sucos, fator averiguado neste estudo, quanto na sua forma natural, no que diz respeito à vitamina C.

O estudo apontou que a ingestão de um copo de suco de laranja *in natura* já atinge a recomendação diária de vitamina C necessária para o bom funcionamento do organismo.

Destaca se também neste estudo, a boa manipulação das frutas para a produção do suco, uma vez que todas as amostras se encontram com o teor de vitamina C acima do estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que institui a quantidade mínima de 25mg.100mL$^{-1}$ de ácido ascórbico.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim.

## 6. REFERÊNCIAS

Baierle, M., Bairros, A.V. e Moreira, A.P.L. 2012. Quantificação sérica de vitamina C por CLAE-UV e estudo de estabilidade. Química nova. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 1978-. Vol. 35, n. 2,(2012), p. 403-407.

BRASIL, 2000. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. *Instrução Normativa nº1, de 7 de Janeiro de 2000. Complementa padrões de identidade e qualidade para polpas de fruta*. Brasília, 10 de Janeiro de 2000. p. 1-18 <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>.

Carvalho, J.T. e Guerra, N.B. 1995. Efeitos de diferentes tratamentos técnicos sobre as características do suco de acerola. *In: São José, A.R., Alves, R.E. Cultura da acerola no Brasil: produção e mercado.* Vitória da Conquista: UESB, p. 96-101.

Castro, M.V., Oliveira, J.P., Junior, M.J.M., Assunção, E.A.O., Brasil, A.P., Rabelo, F.L.A. e Vale, C.H.B. 2007. Análise Química, Físico-Quimica e Microbiológica de Sucos de Frutas Industrializados. *Diál. Ciênc.* Ano V, n. 12.

Cozzolino, S.M.F. 2012. Biodisponibilidade de nutrientes. 4ª edição. São Paulo: Manole, 1334 p.

Craveiro, A. 1994. Vitamina C dá em árvore. *Globo Ciência*, Rio de Janeiro, n. 12, p. 39-42.

Cunha, K.D., Silva, P.R.,Costa, A.L.F.S.F. e Teodoro, A.J. 2014. Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento. Brazilian Journal of Food Technology, v. 17, n. 2, p. 139-145.

Figueira, R., Nogueira, A.M.P., Venturini F.W.G., Ducatti, C., Queiroz, E.C. e Pereira, A.G.S. 2010. Análise físico-química e legalidade em bebidas de laranja., *Araraquara*, v. 21, n. 2, p. 267-272.

INSTITUTE OF MEDICINE/FOOD AND NUTRITION BOARD. 2000. Dietary reference intakes for vitamin C vitamin E, selenium, and carotenoids. *Washington: National Academy Press*, 529p.

Lavarda, L. Determinação da cinética de degradação térmica da vitamina C em polpa de acerola via aquecimento ôhmico. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Química, UFRGS, Rio Grande do Sul, 44 f.

Macrae, R. e Schweigert, B. 1988. HPLC in food analysis. *Hardbound, Academic Press*, 340 p.

Mahan, L.K e Escott, S. 2010. *Alimentos, nutrição e dietoterapia* (tradução de Krause's food, nutrition e diet therapy). São Paulo, Roca, 12th ed.

Oliveira, R.G., Godoy, H.T. e Prado, M.A. 2012. Quantificação dos isômeros ácido L-ascórbico e ácido D-iso-ascórbico em geleias de frutas por cromatografia líquida de alta eficiência. *Química Nova*, v. 35, p. 1020-1024.

Pimentel, C.V.M. B., Francki, V.M. e Gollücke, A.P.B. 2005. Alimentos funcionais: introdução as principais substâncias bioativas em alimentos. São Paulo: Ed. Varela, 95 p.

Rebequi, A.M., Cavalcante, L.R., Nunes, J.C., Diniz, A.A., Brehm, M.A.S. e Beckmann-Cavalcante, M.Z. 2009. Produção de mudas de limão cravo em substrato com biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. *Revista de Ciências Agrárias*.

Reinaldo, F., Silva, M.R.F., Nardoto, G.B. e Garavello, M.P.E. 2015. Mudanças de hábitos alimentares em comunidades rurais do semiárido da região nordeste do Brasil. *Interciência*, vol. 40, n. 5, p. 330-336.

Rosa, J.S., Godoy, R.L.O., Neto, J.O., Campos, R.S., Matta, V.M., Freire, C.A., Silva, A.S. e Souza, R.S. 2007. Desenvolvimento de método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência e exclusão iônica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 27, n. 4, p. 837-846.

Sarni, R.O.S., Souza, F.I. S. e Cocco, R.R. 2010. Micronutrientes e sistema imunológico *Rev Bras Alerg Imunopatol*, v. 33, n. 1, p. 8-13.

Schwedhelm, E., Maas, R., Troost, R., Boger, R. H. 2003. Clinical pharmacokinetics of antioxidants and their impact on systemic oxidative stress. *Clin Pharmacokinet*, v. 42, p. 437-459.

Soares, A.K., Bonvini, B. e Farias, M.M.A.G. 2014. Avaliação do potencial erosivo e cariogênico de sucos artificiais em pó. *Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo*, v. 26, n. 3, p. 197-203.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP. 2006. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos: TACO. 2 ed. Campinas. <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>.

WHO. 2001. World Health Organization. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Human Vitamin and Mineral Requirements. Food and Nutrition Division.* FAO Rome. Report of a joint FAO/WHO expert consultation Bangkok, Thailand. Rome.

## 7. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste papel.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# COLABORANDO COM CONHECIMENTOS REFERENTES AO PNAE E ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL NO ÂMBITO ESCOLAR

**Daniele Bergmeier**
**Jonatan Maicon Antônio Tonin**
**Juliana Carla Girotto**
**Marlova Balke**
**Priscilla Pereira dos Santos**
***Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Erechim. Rua Domingos Zanella, 104, Erechim/RS, Brasil. CEP: 99713-028***
***danibergmeier@gmail.com, jonatan.tonin@erechim.ifrs.edu.br, juliana.girotto@erechim.ifrs.edu.br, marlova.balke@erechim.ifrs.edu.br, priscilla.santos@erechim.ifrs.edu.br***

***Resumo:*** *No âmbito escolar os conhecimentos relacionados à alimentação saudável instigam o interesse dos adolescentes e proporcionam modificações muito importantes nos hábitos alimentares. Neste sentido, foram desenvolvidas atividades referentes ao Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) e sobre os hábitos alimentares. Adotou –se o grupo focal para a avaliação do estudo presente. Participaram 45 adolescentes, sendo 26 alunos e 19 alunas, com idades de 13 a 16 anos. A partir da aplicação de questionários, verificou-se que 80% dos alunos não tiveram informações sobre o PNAE; 61,5% do sexo masculino e 58% do feminino relataram que o tema merenda escolar não foi abordado em sala de aula. Constatou-se que 100% dos estudantes do sexo masculino e 95% do feminino acreditam que o projeto pode auxiliar na ampliação de conhecimentos. Sendo assim, 92% dos alunos e 100 % das alunas atribuíram notas de 71-100 para os conhecimentos repassados mostrando interesse sobre os assuntos abordados. Projetos como este são de extrema importância dentro das escolas, pois oportunizam e incentivam o conhecimentoe saberes para os alunos terem o senso crítico, aprendizado e possibilidade de mudanças no que diz respeito a alimentação saudável.*

***Palavras chaves:*** *Hábitos alimentares; Escola pública; Adolescentes.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) possui como objetivo contribuir para o desenvolvimento local e sustentável, incentivando a inclusão da educação alimentar e nutricional no processo de ensino e aprendizagem, por meio de práticas saudáveis de vida, da segurança alimentar e nutricional de acordo com os aspectos biológicos e socioculturais das pessoas e da coletividade. O PNAE reconhece a alimentação saudável como um direito humano, que compreende um padrão alimentar adequado às necessidades biológicas, sociais e culturais dos indivíduos, respeitando as fases do curso da vida e as práticas alimentares que assumam os significados socioculturais dos alimentos (Brasil, 2006; Brasil 2012; Brasil, 2013).

A Educação Alimentar e Nutricional (EAN) é um campo de ação da Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) e da promoção da saúde, que proporciona a prevenção e o controle dos problemas alimentares e nutricionais atuais, como as doenças crônicas não transmissíveis e as deficiências nutricionais. As ações de EAN são prioridade no Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), colaborando para os discentes assumirem de forma voluntária escolhas alimentares saudáveis, auxiliando o reconhecimento das diferentes expressões da cultura alimentar, fortalecendo hábitos regionais, estimulando o menor desperdício de alimentos, com aproveitamento integral, incentivando o consumo sustentável e da alimentação saudável (Brasil, 2006; Brasil 2012; Brasil, 2013).

A prática de atividades de educação alimentar e nutricional (EAN) no ambiente escolar, proporciona conhecimentos básicos sobre alimentação e nutrição. A má alimentação associada à inatividade física desfavorece a saúde da população (Guizilini, 2016).

Os hábitos alimentares saudáveis, a construção de ações de promoção à saúde e o desenvolvimento de uma alimentação saudável podem ser abordados no ambiente escolar, considerado um espaço privilegiado para trabalhar o conceito de saúde e alimentação saudável. Assim os alunos podem se conscientizarem que a alimentação tem um papel

fundamental sobre a saúde deles e influência no seu crescimento, na fase adulta e idosa (Razuck et al., 2011; Pinto et al., 2014; Borsoi, 2016; Santos et al., 2016).

Conforme Accioly (2009) o alimento pode ser inserido no processo educativo para estimular o consumo de alimentos saudáveis na escola e no cotidiano dos estudantes. Educadores, pais, alunos, merendeiras, comunidade têm fundamental papel na construção de um ambiente escolar promotor de estilos de vida saudáveis, em especial, a alimentação.

Na alimentação é necessário reforçar a necessidade de consumir uma ampla variedade de alimentos que contenham diferentes tipos de nutrientes, combinando-os de diferentes maneiras, segundo as características do modo de comer e dimensões dos costumes alimentares da sociedade. Além da necessidade biológica, o alimento é uma fonte de bem-estar, saberes, socialização e de expressão cultural, uma vez que insere conceitos culturais, comportamentais e afetivos (Brasil, 2012a; Brasil, 2014).

O projeto de extensão do IFRS do Campus Erechim, "Educação e Alimentação Saudável: atitudes para uma formação humana e integral", que vem sendo trabalhado desde 2015, possui o objetivo de desenvolver atividades que favoreçam o senso crítico sobre os hábitos alimentares integrando estudantes e escolas públicas, promovendo para o desenvolvimento de ações que proporcionem qualidade de vida através de uma ótima condição nutricional e segurança alimentar.

O presente trabalho refere-se ao desenvolvimento de práticas sobre a educação e alimentação saudável com a escola estadual de Ensino Fundamental Santo Agostinho, no município de Erechim, através de palestras sobre a temática a fim de permitir alterações de hábitos alimentares que sejam prejudiciais à saúde, bem como propiciar momentos para os alunos desenvolverem o senso crítico referente a importância da educação nutricional, que poderá colaborar para a melhoria dos hábitos alimentares saudáveis, possibilitando o entendimento dos princípios básicos de uma dieta saudável e seus benefícios para o hoje e para o amanhã. Realizou-se um questionário referente ao PNAE, merenda escolar e alimentação, onde o grupo estudado expôs opiniões, descrições sobre o tema trabalhado e os conhecimentos adquiridos na palestra.

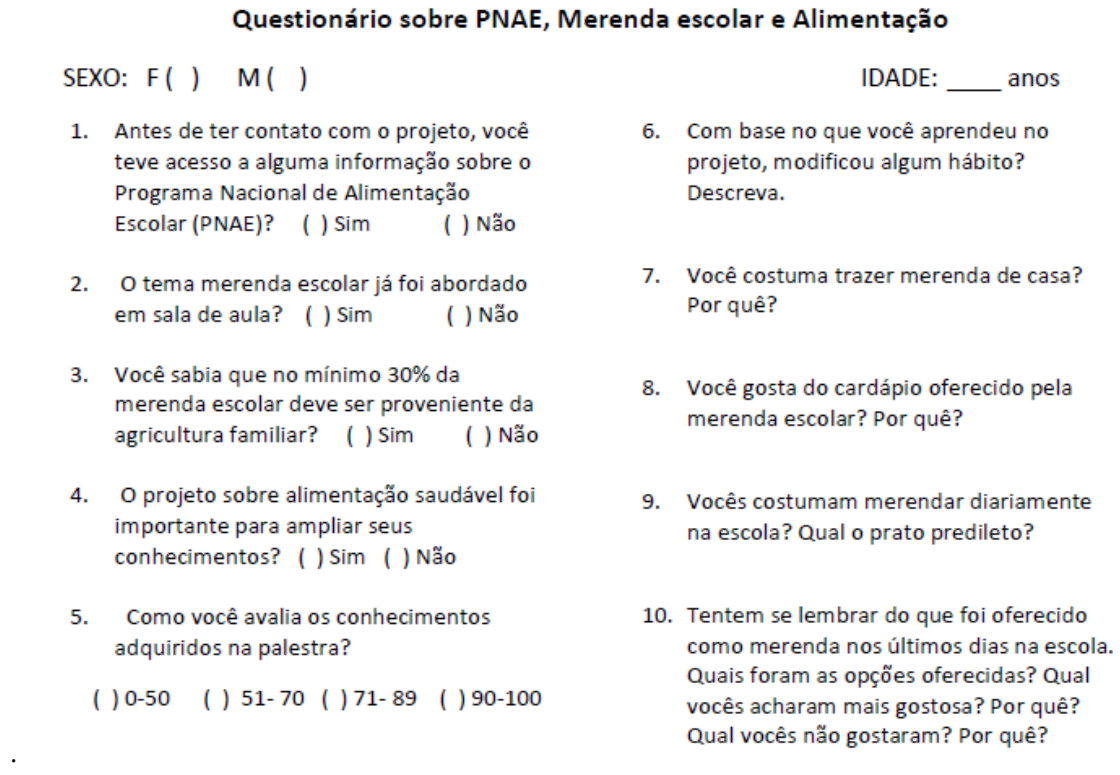
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado na cidade de Erechim um estudo com alunos do nono ano do ensino fundamental de uma escola da rede estadual de ensino, no ano de 2019. A metodologia empregada foi a pesquisa qualitativa onde foi aplicado um questionário intitulado: "Questionário sobre PNAE, Merenda escolar e Alimentação".

Para a avaliação, o grupo focal foi adotado, por ser uma técnica de coleta de dados qualitativos capaz de identificar atitudes e opiniões sobre o tema proposto a partir da interação do grupo (Morgan, 1997; Malhota, 2006). Neste processo os participantes expõem suas experiências, sendo possível descobrir o que pensam e também qual é o entendimento a partir de seus relatos sobre à alimentação escolar. Desse modo, o grupo focal pode alcançar um nível reflexivo que outras técnicas não conseguem obter, demonstrando dimensões de compreensão que, frequentemente, encontram-se inexploradas pelas técnicas convencionais de coleta de dados (KITZINGER,1994). Os grupos focais aconteceram no âmbito escolar, orientando-se por um roteiro composto por materiais audiovisuais e interação verbal entre os participantes.

Uma palestra com o tema: "PNAE e legislação vigente sobre o fornecimento de merenda escolar" foi apresentada aos discentes utilizando-se materiais audiovisuais, com interações e diálogos. Depois da palestra, os escolares responderam o questionário para verificar o aprendizado construído. A figura 1 mostra as questões disponibilizadas aos escolares.

O questionário foi respondido por 45 estudantes (26 alunos e 19 alunas com idade de 13 a 16 anos) da escola estadual de Ensino Fundamental Santo Agostinho do município de Erechim – RS, onde descreveram suas percepções, opiniões e concordância sobre o tema abordado.



**Questionário sobre PNAE, Merenda escolar e Alimentação**

SEXO: F ( ) M ( ) IDADE: ____ anos

1. Antes de ter contato com o projeto, você teve acesso a alguma informação sobre o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE)? ( ) Sim ( ) Não
2. O tema merenda escolar já foi abordado em sala de aula? ( ) Sim ( ) Não
3. Você sabia que no mínimo 30% da merenda escolar deve ser proveniente da agricultura familiar? ( ) Sim ( ) Não
4. O projeto sobre alimentação saudável foi importante para ampliar seus conhecimentos? ( ) Sim ( ) Não
5. Como você avalia os conhecimentos adquiridos na palestra?

   ( ) 0-50 ( ) 51- 70 ( ) 71- 89 ( ) 90-100
6. Com base no que você aprendeu no projeto, modificou algum hábito? Descreva.
7. Você costuma trazer merenda de casa? Por quê?
8. Você gosta do cardápio oferecido pela merenda escolar? Por quê?
9. Vocês costumam merendar diariamente na escola? Qual o prato predileto?
10. Tentem se lembrar do que foi oferecido como merenda nos últimos dias na escola. Quais foram as opções oferecidas? Qual vocês acharam mais gostosa? Por quê? Qual vocês não gostaram? Por quê?

.

Figura 1. "Questionário sobre PNAE, Merenda escolar e Alimentação"

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A participação dos 45 estudantes, com idades de 13 a 16 anos, sendo 26 alunos e 19 alunas, . Observou –se que a faixa etária do sexo feminino compreende dos 13 a 16 anos, já no sexo masculino é de 14 a 16 anos. Sendo que a maioria dos estudantes tem idade de 14 anos tanto do sexo feminino como do masculino totalizando no total 53% dos adolescentes do 9º ano conforme a tabela 1.

Tabela 1. Porcentagem de alunos segundo a idade o sexo

| IDADE | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| 13 | 0 | 5 |
| 14 | 50 | 58 |
| 15 | 38,5 | 32 |
| 16 | 11,5 | 5 |

As respostas das questões disponibilizadas aos escolares estão descritas a seguir.

Ao responderem a questão 1, sobre o acesso a alguma informação sobre o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), antes de ter contato com o projeto, 80% dos alunos do sexo masculino e 79% do sexo feminino responderam que não tiveram acesso a informação sobre o PNAE, como mostra a tabela 2.

Marco et al (2018) realizou o mesmo questionamento a oitenta e um estudantes do sexto ao nono ano e constatou que 78,75 % dos alunos não tiveram acesso a informação sobre o PNAE, mostrando que os estudantes não possuíam conhecimento relacionado aos programas que abordam a merenda escolar. Ressalta-se que as informações presentes nos programas de merenda escolar auxiliam-no esclarecimento de dúvidas pertinentes dos estudantes, possibilitando o conhecimento de onde provem os alimentos presentes na merenda e também de que existe um cardápio elaborado por uma nutricionista que segue as orientações do PNAE.

Tabela 2. Informação sobre PNAE antes do projeto

| Resposta | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| Sim | 80 | 79 |
| Não | 16 | 16 |

| | | |
|---|---|---|
| Não responderam | 4 | 5 |

Na questão 2, a maioria (61,5% masculino e 58% feminino) dos discentes do 9º ano apontaram que o tema merenda escolar não foi abordado em sala de aula. Na tabela 3 tem-se as respostas com a respectiva porcentagem de sim ou não conforme o sexo dos escolares. Constata-se que é importante ter conhecimento sobre a merenda ofertada na escola, sendo assim o projeto contribui para que estudantes conheçam o PNAE e a legislação sobre a merenda escolar.

Tabela 3. Abordagem sobre o tema merenda escolar em sala de aula

| Resposta | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| Sim | 38,5 | 42 |
| Não | 61,5 | 58 |

Ao observar a tabela 4, que condiz com as respostas da questão 3, observa-se que 54 % dos discentes do sexo masculino não sabiam que 30 % da merenda escolar deve ser proveniente da agricultura familiar . Em contra partida, 42% das alunas não sabiam que 30 % da merenda escolar deve ser proveniente da agricultura familiar. No conjunto, 49% não sabiam que 30% da merenda escolar deve ser oriunda da agricultura familiar.

No estudo de Marco et al (2018) 54,32% dos alunos não tinham conhecimento da obrigatoriedade de 30% da merenda ser adquirida da agricultura familiar.

Tabela 4. Conhecimento sobre merenda escolar proveniente da agricultura familiar

| Resposta | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| Sim | 46 | 58 |
| Não | 54 | 42 |

Na questão 4, 100% dos estudantes do sexo masculino e 95% do feminino responderam que o projeto alimentação saudável é importante para ampliar os conhecimentos. Marco et al (2018) ao questionar alunos do sexto ao nono ano teve 96,30% de alunos que acreditavam que o projeto alimentação saudável é importante para ampliar os conhecimentos. Constata-se que o projeto tem muito a agregar na formação dos adolescentes, auxiliando na prática de hábitos saudáveis, entendimento e conhecimentos para o presente, futuro e também para compartilhamento de saberes e informações na comunidade escolar, bem como pode proporcionar através dos discentes o repasse de informações para o âmbito familiar, vizinhos, amigos e parentes.

Na avaliação dos conhecimentos adquiridos na palestra, questão 5, os escolares atribuíram notas, sendo que 54% do sexo masculino atribuíram nota de 71-89 e 68,5% do sexo feminino deram a mesma nota. Percebemos que os discentes sabem da importância de adquirir conhecimentos e saberes para a vida, por isso a grande maioria dos alunos (92%) e alunas (100 %) atribuiu notas de 71-100 para os conhecimentos repassados, como pode-se observar na tabela 5.

Tabela 5. Avaliação dos conhecimentos adquiridos na palestra

| Respostas | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| 0- 50 | 0 | 0 |
| 51- 70 | 8 | 0 |
| 71- 89 | 54 | 68,5 |
| 90- 100 | 38 | 31,5 |

Ao responderem a questão 6, 58% dos discentes do sexo feminino, relataram que modificaram algum hábito de acordo com o que aprenderam no projeto, enquanto que 42,3%, do sexo masculino relataram a mesma mudança, que pode ser visualizada na tabela 6. Salientamos que foi realizado apenas um encontro onde foi abordado o tema "A alimentação na adolescência" e no segundo encontro foi realizado o questionário. Sendo assim, percebe-se que maioria alunos resolveram aplicar os conhecimentos repassados modificando alguns hábitos e posteriormente os descreveram conforme mostra a figura 2 e 3. Tem-se a descrição de uma aluna a qual descreveu o seguinte: "Ainda não, vou começar a praticar", nota-se que ainda não havia modificado algum hábito, porém está pensando em aplicar os conhecimentos e saberes repassados pelo projeto em sua vida.

Tabela 6. Mudança de algum hábito de acordo com o que aprenderam no projeto

| Resposta | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| Sim | 42,3 | 58 |
| Não | 42,3 | 37 |

| | | |
|---|---|---|
| Não responderam | 15,4 | 5 |

"Consumo maior de alimentos naturais"; "Sim, comecei a comer de manhã"; "Sim, agora vou começar a comer melhor"; "Pouco, estou comendo mais frutas"; "Sim, como mais frutas"; "Sim, comecei a comer mais comida saudável"; "Comer coisas saudáveis"; "Comer regularmente"; "Não consumir muito sal"; "Melhorou, pois já comia bem"; "Sim, estou me habituando melhor nos vegetais"; "Sim, cuidei mais da minha alimentação"; "Sim, me faz mudar alguns hábitos".

Figura 2. Descrição dos escolares do sexo masculino referente aos hábitos modificados conforme o aprendizado no projeto

"Sim como mais frutas"; "Sim, vou tentar ser mais saudável"; "Sim, me faz pensar, saber se alimentar de forma correta"; "Não beber tanto café"; "Diminuir o consumo de alimentos ultraprocessados"; "Sim agora me preocupo com o que vou comer"; "Sim, principalmente do energético"; "Sim, comecei a comer coisas mais saudáveis"; Sim, estou comendo alimentos mais saudáveis".

Figura 3. Descrição dos escolares do sexo feminino referente aos hábitos modificados conforme o aprendizado no projeto

O padrão de alimentação pode ser influenciado pelos aspectos econômicos, políticos, culturais e sociais e pelas organizações da comunidade, neste sentido os métodos de educação alimentar e nutricional podem colaborar com a busca por maior qualidade na relação indivíduo e alimento, desenvolvendo a capacidade de fazer julgamentos, com base das informações relacionadas a verdadeira alimentação saudável. O conhecimento sobre alimentação saudável oportuniza a maior autonomia nas escolhas que interferem de forma individual e coletiva, sendo que, a preferência por hábitos saudáveis pode ser motivada por muitos fatores que podem influenciar a forma como as pessoas se alimentam.

Verifica-se na tabela7, referente as respostas da questão 7, que 92% dos alunos do sexo masculino não costumam trazer merenda de casa e 68,4% do sexo feminino. Segundo o PNAE a merenda da escola servida aos alunos deve proporcionar uma alimentação saudável e adequada, contribuindo para o crescimento e o desenvolvimento dos escolares e para a melhoria do rendimento escolar, de acordo com a sua faixa etária e seu estado de saúde. Neste caso é possível identificar que a merenda auxilia nas necessidades alimentares dos adolescentes, por isso a grande maioria (82,2% dos discentes) não trazem merenda de casa. A figura 4 e 5 exibe a justificativa dos estudantes explicando o porquê eles não trazem merenda de casa. A declaração: "Sim, pois eu não como merenda da escola" relatada por alunas, foram as justificativas apresentadas para quem traz merenda de casa.

Tabela 7. Costume de trazer merenda de casa

| **Resposta** | **Masculino (%)** | **Feminino (%)** |
|---|---|---|
| Sim | 4 | 31,6 |
| Não | 92 | 68,4 |
| Não responderam | 4 | 0 |

"Não nunca senti necessidade"; "Não, porque não gosto de trazer"; "Não a comida da escola é melhor"; "Não, dá trabalho"; "Não, falta tempo de preparo"; "Não, pois tem na escola".

Figura 4. Justificativa dos estudantes do sexo masculino referente ao costume de não trazer merenda de casa

"Não, pois não tem necessidade"; "Não, como a da escola"; "Não, tem na escola"; "Não, eu esqueço"; "Não, porque a da escola é boa".

Figura 5. Justificativa das estudantes do sexo feminino referente ao costume de não trazer merenda de casa

As respostas da questão 8, expressas na tabela 8, apontam que 58% dos estudantes do sexo masculino expressaram que gostam do cardápio oferecido pela merenda escolar e 63% do sexo feminino. A figura 6 expõem as argumentações dos estudantes que gostam da merenda da escola, as figuras 7 e 8 denotam as explicações dos que não gostam e dos que às vezes gostam.

Tabela 8. Preferência pelo cardápio oferecido pela merenda escolar

| Resposta | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| Sim | 54 | 58 |
| Não | 15,5 | 16 |
| Não responderam | 11,5 | 0 |
| Ás vezes | 19 | 26 |

"Sim, é muito bom"; "Sim, porque faz bem"; "Sim, é bom e saudável"; "Sim, a tia apavora"; "Sim, é bom"; "Sim, é muito bom".

Figura 6. Argumentações dos estudantes que gostam da merenda da escola

"Não é comida muito pesada, não é um lanche"; "Não, não gosto"; "Não, bolacha, etc., não mata a fome".

Figura 7. Explicações dos estudantes que não gostam da merenda escolar

"Ás vezes"; Ás vezes sim, às vezes não, pois tem coisas que eu não como"; "Ás vezes porque tem algumas que eu não gosto"; "Ás vezes porque tem coisas que eu não gosto"; "Ás vezes"; "Ás vezes, às vezes é apenas bolacha"; "Ás vezes, tá tendo muita bolacha".

Figura 8. Justificativa dos estudantes que às vezes gostam da merenda escolar

A partir das respostas dos discentes, na questão 9, identifica-se que 69 % dos escolares do sexo masculino costumam merendar diariamente na escola e 68,4 % do sexo feminino. A tabela 9 demostra que a maioria dos alunos (69%) costumam merendar diariamente na escola. A figura 9 mostra o prato predileto dos alunos que costumam merendar diariamente na escola.

Tabela 9. Costume de merendar diariamente na escola

| Resposta | Masculino (%) | Feminino (%) |
|---|---|---|
| Sim | 69 | 68,4 |
| Não | 31 | 31,6 |

"Sim, risoto"; "Sim, massa"; "Sim, arroz com feijão ou massa e carne"; "Sim, polenta e molho e carne moída com salada"; "Sim, todos menos bolacha"; "Sim, massa e sopa de feijão"; "Sim, sanduíche"; "Sim, todos menos bolacha e sagu"; "Sim, cachorro-quente"; "Sim, arroz e feijão, creme de chocolate"; "Sim, massa, arroz e feijão"; "Sim, massa, sagu e risoto"; "Sim, pão com guisado"; "Sim, meu prato preferido é creme de chocolate". "Sim, quase todas"; "Sim, pão"; "Sim, carreteiro"; "Sim, o melhor é o sanduíche".

Figura 9. Prato predileto dos escolares que realizam o consumo diário da merenda escolar

As respostas da questão 10 estão expressas nas figuras 10 e 11. Percebe-se os gostos e explicações dos discentes, os quais possuem várias preferências, sendo assim eles escreveram o que queriam dizer e expressar, descrevendo a alimentação oferecida pela escola.

"Feijão, massa, bolacha e sagu. Gosto de tudo"; "Hoje, massa"; "Feijão, massa, bolacha, sagu,+ massa a minha preferida"; "Massa arroz, feijão"; "Gosto do pão recheado"; O último foi feijão e massa, o que mais gosto é massa e carne"; "Sagu, pois foi o último prato que comi"; "Arroz e feijão, massa, sopa, mandioca"; "Sagu e bolacha"; "Sagu, carne com arroz, arroz e feijão, risoto, lentilha. Prefiro lentilha e risoto"; " Gosto quando tem frutas"; "Risoto, arroz e feijão, massa, carne em molho"; "Bolacha e café, gostei porque estava com fome. Risoto porque eu gosto"; "Risoto, massa arroz e lentilha. Entre essas risoto. Nenhuma"; "Lentilha, risoto bom de mais, não como sagu".

Figura 10. Respostas dos estudantes do sexo masculino referentes a questão 10

"Sopa de feijão"; "Sopa, arroz e feijão, massa, mandioca. Sopa"; "Não gosto de arroz e feijão, mas em casa eu como"; "Sanduíche"; "Sagu, risoto e sopa"; "Eu não lembro, mas hoje tem massa e feijão, mas não gosto da bolacha e sagu"; "Massa e feijão"; "Hoje foi massa e feijão, mas a minha favorita é guisado com arroz"; "Risoto"; " Arroz, feijão, sagu, lentilha. E o que mais gosto é arroz e feijão"; "Sagu"; "Sagu, carne com arroz, risoto. Não gosto de sagu e gosto mais de risoto"; "Lentilha odeio, risoto amo de mais"; "Lentilha, arroz, feijão, sagu, risoto. Sagu porque entre eles foi o que mais gostei"; "Foi lentilha, risoto e sagu. E não gosto de sagu"; "Sagu, risoto, gosto de todas"; "Massa foi oferecida, feijão arroz e sopa. Gosto da massa".

Figura 11. Respostas dos estudantes do sexo feminino referentes a questão 10

Verifica-se que diversos fatores e inúmeros elementos atuam na alimentação, influenciando a aceitação dos alimentos, dentre estes tem-se a questão da familiaridade com o alimento, que é resultante das experiências com o mesmo, sendo necessário expor ao indivíduo o alimento rejeitado várias vezes; também tem -se a associação da alimentação com as emoções, os simbolismos e as influências socioeconômicas e culturais o que possibilita a escolha dos alimentos (ROSSI et al., 2008; Eistenstein et al., 2000).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo presente teve a participação de 45 adolescentes, sendo 26 alunos e 19 alunas, com idades de 13 a 16 anos, onde 53% dos adolescentes tem 14 anos. A partir das respostas dos estudantes, constatou-se que 80% dos alunos não tiveram informações sobre o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE); 61,5% do sexo masculino e 58% do feminino relataram que o tema merenda escolar não foi abordado em sala de aula.

Nota-se que 51% dos escolares já sabiam que 30% da merenda escolar deve ser proveniente da agricultura familiar e confirma-se que o projeto alimentação saudável é importante para ampliar os conhecimentos, pois 100% dos estudantes do sexo masculino e 95% do feminino acreditam que o projeto pode auxiliar na ampliação de conhecimentos.

Os adolescentes expressaram, através do questionário, a avaliação de conhecimentos adquiridos sendo que 92% dos alunos e 100 % das alunas atribuíram notas de 71-100 para os conhecimentos repassados mostrando a importância de adquirir conhecimentos e saberes para a vida.

Constata-se que 58% dos discentes do sexo feminino e 42,3% do sexo masculino relataram que modificaram algum hábito de acordo com o que aprenderam no projeto, tendo em vista que foi realizado apenas um encontro onde foi abordado o tema "A alimentação na adolescência" e no segundo encontro foi realizado o questionário, tem-se um número significativo de mudança de hábitos.

Segundo as respostas dos estudantes tem-se que: 92% dos alunos do sexo masculino não costumam trazer merenda de casa e 68,4% do sexo feminino; 58% dos estudantes do sexo masculino expressaram que gostam do cardápio oferecido pela merenda escolar e 63% do sexo feminino. Identifica-se que 69% dos escolares do sexo masculino costumam merendar diariamente na escola e 68,4 % do sexo feminino. Os alunos também mostraram suas preferências, gostos, descrevendo a alimentação oferecida pela escola

Os conhecimentos relacionados a alimentação saudável instigam o interesse dos adolescentes e proporcionam transformações importantes nos hábitos alimentares. A comunidade escolar tem grande relevância no âmbito educacional, possibilitando o engajamento de projetos que podem influenciar e motivar a alimentação saudável. Por isso projetos como este são fundamentais dentro das escolas, uma vez que, oportunizam o conhecimento, saberes e experiências para os escolares terem o senso crítico, aprendizado e possibilidade de mudanças no que diz respeito a alimentação.

As ações de extensão alusivas à alimentação saudável, propiciam a oportunidade para a educação alimentar e nutricional e para o desenvolvimento da capacidade de questionar e analisar de forma racional e inteligente os hábitos alimentares. Verifica-se que é imprescindível um engajamento de toda a comunidade escolar infindavelmente na adoção de práticas saudáveis não se limitando apenas em atividades pontuais, como as palestras.

As atividades do projeto possibilitam um enfoque em sala de aula colaborando com os assuntos ministrados pelos professores, viabilizando a inclusão de todo o corpo escolar, estimulando um debate sobre questões da atualidade, proporcionando a construção e desenvolvimento de conexões entre a instituição de ensino e a comunidade externa.

Salienta-se que as ações auxiliam em um maior diálogo relacionado aos hábitos alimentares saudáveis, cooperando essencialmente na formação dos estudantes e principalmente fortalecendo o processo de ensino aprendizado, oportunizando a integração, a construção de conhecimento, a busca pela verdade com o questionamento e reflexão profunda sobre assuntos que dizem respeito a alimentação saudável e a integração da alimentação saudável como um assunto transversal permanente das áreas do conhecimento.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Campus Erechim, pelo incentivo aos projetos de extensão, estimulando o envolvimento e comprometimento de docentes, técnicos e discentes, possibilitando a conexão com a comunidade externa.

À Escola Estadual Santo Agostinho de Erechim/RS, que proporcionou o desenvolvimento das atividades descritas neste artigo.

## 6. REFERÊNCIAS

BORSOI, A. T; TEO, C. R. P. A.; MUSSIO, B. R., 2016. Educação alimentar e nutricional no ambiente escolar: uma revisão integrativa. Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação, Araraquara/SP, v. 11, n. 3, p.1441-1460. 27 de Jun. 2019. <https://dx.doi.org/10.21723/riaee.v11.n3.7413>.

ACCIOLY, E., 2009. A escola como promotora da alimentação saudável. Revista: Ciência em Tela, v. 2, n. 2,. 22 Jul. 2019 <http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/0209accioly.pdf>

BRASIL. 2012. Ministério da saúde. Política nacional de alimentação e nutrição. Brasília: Ministério da Saúde.

BRASIL - Ministério da Saúde. Portaria interministerial nº 1.010, de 8 de maio de 2006. Institui as diretrizes para a promoção da alimentação saudável nas escolas de educação infantil, fundamental e nível médio das redes públicas e privadas, em âmbito nacional. 14 de Jun. 2019. <http://crn3.org.br/Areas/Admin/Content/upload/file-0711201572722.pdf>.

BRASIL. 2014. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Guia alimentar para a população brasileira. Brasília: Ministério da Saúde.

BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Ministério Da Educação. Resolução/CD/FNDE nº 26, de 17 de junho de 2013. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no âmbito do Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE.

BRASIL. Ministério da Saúde. 2012a. Secretaria de Atenção à Saúde. Coordenação- Geral de Alimentação e Nutrição. Política Nacional de Alimentação e Nutrição. Brasília-DF: Ministério da Saúde.

BRASIL. Portaria Interministerial nº 1.010, de 08 de maio de 2006. Institui as diretrizes para a promoção da alimentação saudável nas escolas de educação infantil, fundamental e nível médio das redes públicas e privas, em âmbito nacional. Diário Oficial da União 09 maio 2006.

EISENSTEIN, E.; COELHO, K. S. C.; COELHO, S. C.; COELHO, M. A. S. C., 2000. Nutrição na adolescência. Jornal de Pediatria, Rio de Janeiro, v. 76, p. S263-274.

GUIZILINI, R. A., 2016. Educação nutricional: contribuições para hábitos saudáveis. 2016. Versão online ISBN 978-85-8015-094-0.Volume II, 42 p..

KITZINGER J., 1994. *The methodology of focus group: the importance of interaction between research participants. Sociol Health Illn.*

MALHOTRA, N. K., 2006. Pesquisa de Marketing. 4ª edição. Porto Alegre: Bookman.

MARCO, M., Girotto, J., Balke, M., 2018. Dialogando com estudantes do ensino fundamental sobre educação e alimentação saudável. 7º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul.

MORGAN D. L. 1997. *Focus groups as qualitative research*. 2ª ed. California: SAGE; p. 80.

PINTO V. L. X. et al., 2014. Educação Permanente de professores: a reflexão-ação na promoção da alimentação saudável nas escolas. Extensão em Foco, Curitiba: Editora da UFPR, n.10, p.37-58, jul/dez.

RAZUCK, R. C. S. R. et al., 2011. A Influência do professor nos Hábitos Alimentares. VIII Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências - ENPEC. ABRAPEC..

SANTOS, A. S.; OLIVEIRA, N. F.; SANTOS, A. P. M. LIMA, M. L., 2016. A escola promovendo hábitos alimentares saudáveis: trabalhando os alimentos funcionais em sala de aula. Congresso Nacional de Pesquisa Ensino em Ciências. Paraíba.

ROSSI, A.; MOREIRA, E. A.; RAUEN M. S., 2008. Determinants of eating behavior: a review focusing on the family. Rev Nutr. Ed. 21, p.48,

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PRODUÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL DE REQUEIJÃO CREMOSO COM MASSA ÁCIDA CONGELADA: UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA PARA SAZONALIDADE DE PRODUÇÃO DO LEITE

**Andressa Dalila Bianchi**
**Stefani Mallmann**
**Isadora Gazoni**
**Darlene Cavalheiro**
**Elisandra Rigo**

Universidade do Estado de Santa Catarina – Pinhalzinho / SC
andressa.dalila@hotmail.com, darlene.cavalheiro@udesc.br, elisandra.rigo@udesc.br, stefani.mallmann@edu.udesc.br, isadora_gazoni@hotmail.com

***Resumo:*** *A produção de leite vem aumentando consideravelmente no Brasil, principalmente no estado de Santa Catarina. Contudo, as indústrias enfrentam problemas relacionados a sazonalidade do fornecimento de leite devido alguns fatores, como a diversidade climática, disponibilidade de alimentos para os animais e custo de produção. O congelamento de massas lácteas, base para queijos processados, surge como uma alternativa para minimizar o impacto causado pela instabilidade na produção de leite. No entanto, são necessários estudos que abordem o efeito desta operação na característica dos produtos elaborados. Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar a influência da massa de queijo de coagulação ácida, fresca e congelada, nas características do processo de produção e físico químicas do requeijão cremoso elaborado em escala industrial em um laticínio de Santa Catarina. As massas de queijo após produção foram congeladas em intervalo de 15, 30, 60 e 90 e para cada tempo, foram elaborados requeijões cremosos. Observou-se aumento do tempo de fusão e redução do rendimento dos requeijões em relação ao tempo de congelamento. Os parâmetros físico-químicos apresentaram-se de acordo com o regulamento técnico específico do produto. Assim, o congelamento das massas de queijo mostrou-se como uma alternativa para contornar as intempéries da sazonalidade do leite, resultando em requeijão com características aceitáveis ao padrão industrial.*

***Palavras chave:*** *caseína ácida, estocagem, queijo processado*

## 1. INTRODUÇÃO

O leite é um alimento composto por minerais, vitaminas, compostos bioativos e uma importante fonte de proteína, desta forma, a sua ingestão o torna benéfico à saúde humana (Dave e Singh, 2019; Thorning *et al*., 2017). A produção de leite no Brasil vem crescendo de forma significativa, principalmente no estado de Santa Catarina, aumento resultante da otimização dos processos nas propriedades rurais com a implantação de novas tecnologias e sistemas de produção.

Na região Sul do Brasil, algumas áreas possuem características climáticas subtropicais, onde os verões são amenos e invernos frios. Estas temperaturas encontram-se na faixa de conforto térmico ideal para raças de gado leiteiro de origem europeia. No entanto, uma vasta área do território brasileiro está situada em regiões tropicais, onde as altas temperaturas impossibilitam a produção potencial de leite de vacas de raças continentais (Gabbi *et al*., 2016). Em virtude da metereologia, a disponibilidade de alimentos aos animais fica comprometida em períodos de pouca chuva e calor, podendo alterar, além da produção e custo, a composição do leite, reduzindo os níveis de proteína/sólidos e afetando diretamente os laticínios (Marcondes *et al*., 2017). Como a produção no país é heterogênea e dispersa, em determinadas épocas do ano há excedente na produção do leite, enquanto em outras há falta desta matéria prima (Vilela *et al*., 2017).

Essa regionalização e sazonalidade na produção de leite torna-se um desafio para as indústrias processadoras, necessitante de alternativas que contornem ou minimizem os impactos de oferta e demanda, controlando a ociosidade industrial e buscando menores custos, principalmente, relacionados ao valor econômico da matéria-prima utilizada. Nesse sentido, o congelamento é uma alternativa industrial de conservação que vem se difundindo como uma opção para a aumentar o tempo de validade dos queijos durante a comercialização, principalmente queijos com umidade maior, (Lück, 1977), possibilitando o processamento de acordo com a necessidade dos produtos, visto que o congelamento do leite, além de ser algo não previsto em instruções normativas, torna-se inviável em virtude do volume necessário para armazenamento.

O congelamento das massas utilizadas como matéria-prima na produção de queijos processados pode ser uma alterativa para racionalizar os problemas envolvendo os impactos da produção de leite e a demanda pelo consumo de produtos lácteos. Entretanto, são relatadas modificações nos alimentos submetidos a esta operação, como desestabilização de proteínas e ruptura da estrutura da caseína (Meza *et al*., 2011), sendo necessário realizar estudos sobre os impactos desta operação a fim de buscar respostas científicas para respaldar o processo de congelamento que sejam descritos em regulamentos técnicos específicos. Neste sentido, destaca-se a importância de pesquisas sobre o requeijão cremoso, considerando que dentre os produtos lácteos consumidos no Brasil, este consiste em uma commodity desde 2014. Para sua elaboração faz-se necessária uma mistura envolvendo gordura láctea, sais emulsificantes e caseínas, provenientes de massas de queijo ou queijos, submetidas a fusão. As massas de queijo podem ser oriundas de coagulação ácida ou enzimática do leite, de acordo com as características desejadas no produto final (Gomes *et al*., 2017; Cerníková *et al*., 2017). Contudo o efeito do congelamento destas massas nas características de produção e físico química do requeijão ainda necessitam ser investigadas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As duas bateladas de massa de queijo ácida foram produzidas por um Laticínio da Região Oeste de Santa Catarina, assim como o processo de conservação por congelamento nos tempos 15, 30, 60 e 90 dias de congelamento. As massas frescas e congeladas foram enviadas para uma indústria processadora situada na região Noroeste de São Paulo para a produção dos requeijões cremosos. As análises físico-químicas dos requeijões foram conduzidas no Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. O experimento foi conduzido em triplicada de análise e réplica de produção.

Para a elaboração da massa de queijo, utilizou-se leite pasteurizado desnatado seguido de coagulação ácida por meio de adição de *Streptococcus salivarius subsp. t, Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus e Lactobacillus helveticus*. Após formação da coalhada (pH 4,90), a massa seguiu para o corte, dessoragem parcial, aquecimento, dessoragem total e lavagens com água para estabilização do pH e redução de acidez, de forma que o soro proveniente da lavagem atingisse acidez de a 0,1 g/100 g. A massa foi prensada e acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade de 17 Kg.

As embalagens de massa fresca destinadas a análise sem congelamento foram mantidas por 12 horas em câmara fria a 5 °C e, posteriormente, transportadas na mesma temperatura para a produção do requeijão. As demais massas de queijo de ambas as bateladas foram estocadas em câmara de congelamento lento com temperatura estabelecida em -10 °C, empilhadas sob paletes e a cada tempo de avaliação seguiram para elaboração do requeijão conforme o processo da massa fresca. O descongelamento das massas foi efetuado em câmara fria com temperatura de 1 a 5°C durante 48 horas. A representação da logística da estocagem, transporte, descongelamento das massas e produção dos requeijões encontram-se na Figura 1.

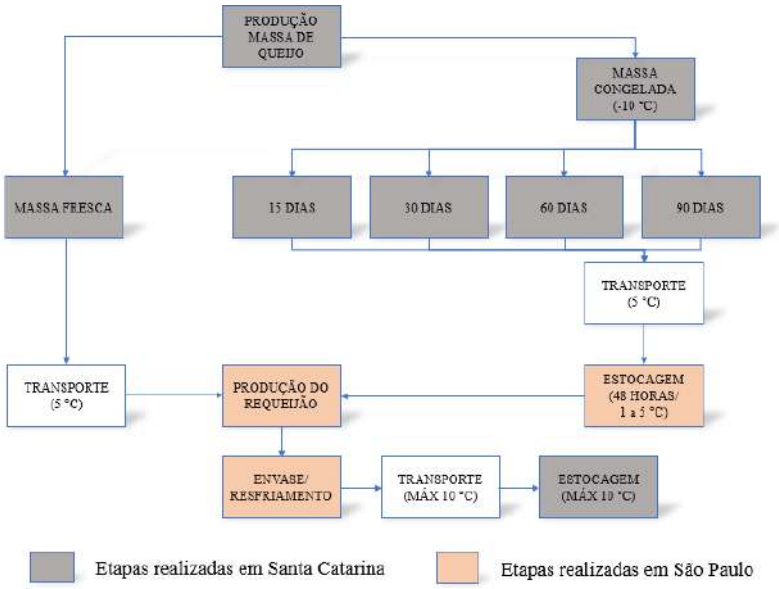



Figura 1. Fluxograma representativo das etapas de estocagem, transporte, descongelamento das massas de queijo e produção, transporte e estocagem do requeijão cremoso

Para a produção do requeijão utilizou-se a mesma formulação e processo rotineiro da indústria processadora. Os ingredientes utilizados na fabricação foram: creme de leite, massa coalhada de coagulação ácida fresca (MQF) e com 15

(MQ15), 30 (MQ30), 60 (MQ60) e 90 (MQ90) dias de congelamento, leite em pó desnatado, cloreto de sódio, estabilizantes tetrapirofosfato de sódio e fosfato trissódico e conservantes sorbato de potássio e nisina. Para cada produção obteve-se requeijões oriundos das massas fresca e congelada, sendo RQF (requeijão obtido da MQF), RQ15 (requeijão obtido da massa MQ15), RQ30 (requeijão obtido da MQ30), RQ60 (requeijão obtido da MQ60) e RQ90 (requeijão obtido da MQ90). A massa de queijo e ingredientes foram fundidos a 90 °C e o tempo de paralisação do processo de cremificação foi definido de acordo com o teor de umidade atingido (máximo 65 g/100 g). Os parâmetros de processo avaliados foram temperatura e tempo de fusão, umidade e rendimento.

Após a produção os requeijões foram envasados em embalagens plásticas de 200 gramas e direcionados para resfriamento em câmara fria a -10°C. Em seguida, estocados e transportados em temperatura de até no máximo 10 °C. O requeijão foi estocado por 10 dias até realização das análises físico-químicas.

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, por medidor de pH de bancada (Digimed - DM22). A acidez foi avaliada pelo método titulométrico (IAL, 2005), gordura pelo método de Gerber (AOAC, 2016) e gordura no extrato seco pela formula prática (AOAC, 2016). Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de média de LSD a 5% através Software STATGRAPHICS CENTURION 9.0, considerando um nível de 95% de confiança ($p < 0,05$).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de processo de produção dos requeijões elaborados a partir das massas de queijo fresca e congeladas.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros de processo na elaboração dos requeijões cremosos oriundo das massas de queijo fresca (MQF) e com 15 (MQ15), 30 (MQ30), 60 (MQ60), 90 (MQ90) e 120 (MQ120) dias de congelamento.

| Parâmetros | Período de Armazenamento (dias) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | RQF | RQ15 | RQ30 | RQ60 | RQ90 |
| Temperatura Fusão (°C) | 90,0 ± 0,0$^{a}$ | 90,0 ± 0,0$^{a}$ | 90,0 ± 0,0$^{a}$ | 90,3± 0,4$^{a}$ | 90,0 ± 0,0 $^{a}$ |
| Tempo Fusão (min) | 44,0 ± 3,3$^{a}$ | 41,0 ± 3,4$^{a}$ | 50,5 ± 3,3$^{b}$ | 56,5 ± 3,4$^{cd}$ | 54,0 ± 3,1$^{c}$ |
| Umidade (g/100 g) | 64,4 ± 0,3$^{a}$ | 62,3 ± 0,31$^{b}$ | 61,9 ± 0,3$^{c}$ | 61,3 ± 0,3$^{d}$ | 61,0 ± 0,3$^{e}$ |
| Rendimento (kg) | 411,2 ± 0,6$^{a}$ | 383,0 ± 0,4$^{f}$ | 403,4 ±0,6 $^{b}$ | 396,0 ± 0,7$^{e}$ | 400,8 ± 0,5$^{c}$ |

Média de cada batelada ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na linha não apresentam diferença estatística significativa entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). RQF (Requeijão produzido a partir da MQF), RQ15 (Requeijão produzido a partir da MQ15), RQ30 (Requeijão produzido a partir da MQ30), RQ60 (Requeijão produzido a partir da MQ60) e RQ90 (Requeijão produzido a partir da MQ90).

Ao observar a temperatura de fusão entende-se que o processo foi conduzido conforme indicado (VAN DENDER, 2014), em temperaturas entre 70 e 90 °C, entre as quais ocorre o processo de cremificação dos queijos processados, ou seja, o encurtamento da estrutura do produto e a formação do corpo deste. A temperatura é importante para a fusão, pois o calor auxilia a peptização da caseína, além de, juntamente com os sais emulsificantes, aumentar a capacidade de absorção de água das caseínas. Também, pelo fato dos requeijões cremosos necessitarem de um menor extrato seco, torna-os mais susceptíveis a deteriorações microbianas. Por este fato, a cremificação precisa ser mais intensa e as temperaturas de processo estarem na faixa de 90 – 95 °C (Van Dender, 2014).

O tempo de processo apresentou diferença estatística ($p<0,05$), sendo que o alcance do ponto final do requeijão apresentou aumento para os requeijões elaborados com massa congelada em comparação com a massa de queijo fresca. A duração do processo de fusão é citada também no regulamento técnico de identidade e qualidade do produto, onde preconiza que os queijos processados devem ser submetidos a um tratamento térmico por no mínimo 80 °C durante 15 segundos (Brasil, 1997).

A duração do processo é um importante parâmetro de controle para garantir a estrutura do produto, no entanto, o tempo varia de acordo com as características da matéria-prima e produto a ser elaborado (Van Dender, 2014). Aquecimentos prolongados podem resultar em requeijões supercremificados, mais viscosos e de menor teor de umidade (CRUZ *et al*., 2017). Também, a duração do processo é ligada com a produtividade, fator de grande impacto para as indústrias.

Este aumento no tempo do processo de fusão do requeijão elaborado com MQF em relação as massas congeladas pode estar relacionado a ruptura na estrutura da matriz proteica e redução do teor de caseína relativa em função da estocagem sob congelamento das massas onde em uma estrutura de caseína mais hidrolisada, necessita-se de maior

tempo de agitação. Também, com o congelamento, os glóbulos de gordura podem coalescer resultando na desestabilização da emulsão (Zhang *et al*., 2006, Fontecha *et al*., 1993, Kljajevic *et al*., 2016, Koschak *et al*., 1981).

A umidade apresenta-se como parâmetro importante para a qualidade do requeijão cremoso, principalmente em relação à textura do produto. O ponto do requeijão foi obtido no momento em que a umidade encontrava-se inferior a 65%, valor recomendado por Van Dender (2014). Os valores variaram de 61,00 g/100 g a 64,4 g/100 g. A umidade também está ligada com o rendimento do produto, ou seja, quanto maior o teor, maior quantidade de produto será obtida. O maior rendimento foi obtido no RQF, o qual apresentou maior teor de umidade (64,4 g/100 g). Cabe ressaltar que todas as massas são provenientes das mesmas respectivas bateladas.

Guinee e O'Callaghan (2013) estudaram os efeitos da redução de gordura nas propriedades físico-químicas de queijo processado. Para as amostras padrão, com teor de gordura normal (32,5 g/100 g) o teor de umidade encontrado foi de 52,7 g/100 g. Ferrão *et al* (2018) em um estudo também de redução de gordura e com redução de sódio, as amostras padrão de requeijão apresentaram 64,77 g/100 g de umidade, valor próximo ao determinado no presente estudo. Ambos os estudos envolveram queijos processados de matrizes lácteas obtidos de misturas de massas de queijo fresca e maturada sem serem submetidas a processos de congelamento.

Em geral, os requeijões obtidos da massa de queijo fresca apresentaram maior teor de umidade e maior rendimento quando comparado com as massas de queijo congeladas. O RQ15 e RQF apresentaram os menores tempos de processo de elaboração do produto.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados físico-químicos de pH, acidez, gordura e gordura no extrato seco (GES) dos requeijões cremosos obtidos a partir das massas de queijo fresca e congeladas.

Tabela 2. Análises físico-químicas dos requeijões cremosos obtidos das massas de queijo fresca (MQF) e com 15 (MQ15), 30 (MQ30), 60 (MQ60) e 90 (MQ90) dias de congelamento.

| Período de Armazenamento (dias) | pH | Acidez (g/100 g) | Gordura (g/100 g) | GES (g/100 g) |
|---|---|---|---|---|
| RQF | $5,73 \pm 0,1^{b}$ | $0,36 \pm 0,1^{a}$ | $29,5 \pm 0,4^{b}$ | $83,5 \pm 1,8^{c}$ |
| RQ15 | $5,68 \pm 0,1^{ab}$ | $0,42 \pm 0,1^{b}$ | $28,33 \pm 0,6^{a}$ | $74,9 \pm 1,8^{b}$ |
| RQ30 | $5,84 \pm 0,1^{c}$ | $0,37 \pm 0,1^{a}$ | $28,16 \pm 0,5^{a}$ | $73,9 \pm 1,8^{ab}$ |
| RQ60 | $5,64 \pm 0,1^{a}$ | $0,41 \pm 0,1^{b}$ | $28,5 \pm 0,6^{a}$ | $74,4 \pm 1,8^{b}$ |
| RQ90 | $5,66 \pm 0,1^{a}$ | $0,41 \pm 0,1^{b}$ | $28,16 \pm 0,4^{a}$ | $72,6 \pm 1,8^{a}$ |

Média de três valores de cada batelada ± desvio padrão. Médias seguidas pela mestra letra na coluna não apresentam diferença estatística pelo teste LSD ($p < 0,05$). RQF (Requeijão produzido a partir da MQF), RQ15 (Requeijão produzido a partir da MQ15), RQ30 (Requeijão produzido a partir da MQ30), RQ60 (Requeijão produzido a partir da MQ60) e RQ90 (Requeijão produzido a partir da MQ90).

Os valores de pH apresentaram diferença estatística ($p<0,05$) entre as amostras avaliadas. O requeijão obtido das massas com maiores tempos de congelamento apresentaram menor pH quando comparado ao requeijão produzido com MQF. A acidez apresentou comportamento inverso ao parâmetro de pH, ou seja, o requeijão das massas congeladas apresentou acidez maior quando comparado ao requeijão obtido da massa de queijo fresca (MQF).

Em decorrência da solubilidade, interação e hidrólise dos sais de cálcio, o pH final dos queijos processados geralmente varia de 5,4 a 5,9, possivelmente devido as matérias-primas e ingredientes utilizados na produção (Guinee *et al*., 2004).

O tetrapirofosfato de sódio utilizado na produção do requeijão do estudo é um sal largamente utilizado em queijos processados por tornar a consistência do produto mais firme. Já o fosfato trissódico tem seu uso designado para ação tamponante, de forma a aumentar o pH da matriz proteica para a realização da fusão. Essa mistura de sais, garante a maximização da capacidade emulsificante, sequestrante e tamponante, possibilitando a elaboração de um requeijão com características desejáveis (Bunka *et al*., 2012).

Queijos processados com valores de pH entre 5,5 e 5,7, como na maioria dos requeijões do estudo, são considerados requeijões com consistência cremosa e de maior dureza. Já em pH inferior a 5,4, os queijos processados têm tendência a apresentarem-se mais firmes e acima de 6, requeijões com consistência gomosa, propiciando a separação de gordura devido a menor interação proteína-proteína (Van Dender, 2006).

Purna *et al* (2006), em um estudo envolvendo matrizes proteicas de diferentes estágios de maturação, encontrou valores de pH variando de 5,65 e 5,75, resultados próximos ao estudo em questão.

Os valores de gordura apresentaram diferença estatística ($p<0,05$). O requeijão obtido da massa fresca resultou em teor de gordura maior em relação aos requeijões produzidos com as massas de diferentes tempos de congelamento.

O valor médio dos teores de gordura encontrados no estudo foi de 28,25%, dado superior ao encontrado por Chen e Liu (2012), cujo valor foi 22,9 %. As diferenças em relação ao teor lipídico no requeijão podem ser ocasionadas em virtude das possíveis variações da matéria gorda utilizada como ingrediente na fabricação do

produto e também dos impactos do congelamento lento, onde os cristais formados podem aprisionar os glóbulos de gordura, alterando de forma irreversível a sua estrutura (Fontecha *et al*., 1993, Koschak *et al*., 1981).

A GES apresentou diferença estatística ($p<0,05$) entre as amostras, sendo que o requeijão da MQF apresentou o maior valor. A GES é uma relação da gordura presente na matéria seca e de acordo com o regulamento de identidade e qualidade do produto, o requeijão cremoso deve conter no mínimo 55% de GES. Os valores mais baixos de GES no estudo foi no RQ90, apresentando-se acima do limite mínimo preconizado pela legislação.

Em um estudo feito por Lee *et al* (2015), o valor médio da gordura no extrato seco encontrado foi de 67,9 g/100 g, valor inferior ao mínimo encontrado no presente estudo.

Os resultados das análises físico-químicas mostram que mesmo havendo diferenças significativas ($p<0,05$) para os parâmetros avaliados para os requeijões produzidos, estes encontram-se de acordo com os regulamentos técnicos de identidade do produto, porém, apresentam diferença de alguns estudos realizados por outros autores. A composição química, como a umidade, gordura, gordura na matéria seca e pH são fatores determinantes para as características reológicas e texturais dos requeijões cremosos, além das condições e parâmetros de processamento (Bowland e Foegeding, 2001).

## 4. CONCLUSÃO

O congelamento de massas lácteas durante 90 dias surge como uma alternativa para minimizar os impactos causados pela sazonalidade e oferta/demanda de leite/produtos lácteos, contornando a ociosidade industrial, otimizando processos e custos.

O congelamento das massas resultou em requeijões com características similares ao produto elaborado com massa fresca, com padrões físico-químicos de acordo com as legislações vigentes, porém é importante verificar as diferenças dos parâmetros de processo como maior tempo de fusão e menor rendimento, fatores impactantes para as indústrias sugerindo-se assim um estudo para otimização destas variáveis de processo.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UDESC, FAPESC, ICL e Tirolez pelo apoio a pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

Bowland, E.L. e Foegeding, E. A. Small strain oscillatory shear and microstructural analyses of a model processed cheese. *Journal of Dairy Science*, v. 84, p. 2372-2380, 2001.

Brasil. Portaria nº 359, de 04 de setembro de 1997. *Aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade do Requeijão ou Requesón*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União. Brasília, 8 de setembro de 1997.

Bunka, F., Doudová, L., Weiserová, E., Kuchar, D., Michalek, J. e Slaviková, S. The effect of different ternary mixtures of sodium phosphates on hardness of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 47, p. 2063-2071, 2012.

Cerníková, M., Nebesárová, J., Salek, R. N., Riháckova, L. e Bunka, F. Microstructure and textural and viscoelastic properties of model processed cheese with different dry matter and fat in dry matter contente. *Journal of Dairy Science*, v. 100, p. 4300 – 4307, 2017.

Chen, L. e Liu, H. Effect of emulsifying salts on the physicochemical properties of processed cheese made from Mozzarella. *Journal of Dairy Science*, v.95, p. 4823-4830, 2012.

Cruz, A.G., Zacarchenco, P.B., Oliveira, C.A.F. e Corassin, C.H. *Processamento de produtos lácteos*. Elsevier, p. 93, 2017.

Dave, A.C. e Singh, D.H. Milk Protein Interactions. *Encyclopedia of Food Chemistry*, p. 63-69, 2019.

Ferrão, L.L., Ferreira, M.V.S., Cavalcanti, R. N., Carvalho, A.F.A., Pimentel, C., Silva, H.L., Silva, R., Esmerino, E.A., Neto, R.P.C., Tavares, M.I.B., Freitas, M.Q., Menezes, J.C.V., Cabra, L.M., Moraes, J., Silva, M.C., Mathias, S.P., Raices, R.S.L., Pastores, G.M., e Cruz, A. G. The xylooligosaccharide addition and sodium reduction in requeijão cremoso processed cheese. *Food Research International*, v. 107, p. 137-147, 2018.

Fontecha, J., Bellanato, J. e Juarez, M. Infrared and Raman spectroscopic study of casein in cheese: Effect of freezing and frozen storage. *Journal of Dairy Science*, v. 76, p. 3303-3309, 1993.

Gabbi, A.M., Cobucci, J. A., Fischer, V. e Mcmanus, C.M. Temporal Relationship Between Milk Production and Meteorological Variables in Southern Brazil. *In Climate Change Adaptation, Resilience and Hazards* (pp. 395-408). Springer, Cham. 2016.

Gomes, R.A.R., Pithan, R.O., Van Dender, A.G.F. e Zacarchenco, P.B. *Brasil dairy trends - Tendências do Mercado de Produtos Lácteos 2020*. ITAL Campinas, p. 16-17, 2017.

Guinee, T.P., Caric, M. e Kalab, M. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. *Cheese: Chemistry, physics and microbiology*, v. 2, 2004.

Guinee, T.P. e O'Callaghan, D.J. Effect of increasing the protein-to-fat ratio and reducing fat content on the chemical and physical properties of processed cheese product. *Journal of Dairy Science*, v. 96, p. 6830-6839, 2013.

Instituto Adolfo Lutz (IAL). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ª. edição. Brasília: IAL, 2005.

Kljajevic, N.V., Jovanovic, S.T., Miloradovic, Z.N. Macej, O.D., Vucic, T.R. e Zdravkovic, I.R. Influence of the frozen storage period on the coagulation properties of caprine milk. *International Dairy Journal*, v. 58, p. 36-38, 2016.

Koschak, M.S., Fennema, O., Amundson, C.H. e Lee, J.Y. Protein stability of frozen milk as influenced by storage temperature and ultrafiltration. *Journal of Food Science*, v. 46, p. 1211-1217, 1981.

Latimer, G. W. *Official methods of analysis: of AOAC international*. ed. 20. Maryland: AOAC, 2016. v. 2.

Lee, S.K., Klostermeyer, H. e Anema, S. Effect of fat and protein-in-water concentrations on the properties of model processed cheese. *International Dairy Journal*, v.50, p. 15-23, 2015.

Lück, H. Preservation of cheese and perishable products by freezing. *South African Journal of Dairy and Technology*, v. 9, p. 127 – 132, 1977.

Marcondes, M.I., Brandão, V.L.N., Ferreira, G.A.T. e Silva, A.L. Impact of farm size on milk quality in the Brazilian dairy industry according to the seasons of the year. *Ciência Rural*, v.47, n.11, 2017.

Meza, B.E., Verdini, R.A. e Rubiolo, A. C., Effect of freezing on the viscoelastic behaviour during the ripening of a commercial low-fat soft cheese. *International Dairy Journal*, v. 21, p. 346-351, 2011.

Purna, S. K. G., Pollard A. e Metzger, L. E. Effect of formulation and manufacturing parameters on process cheese food functionality - Trisodium citrate. *Journal of Dairy Science*, v. 89, p. 2386-2396, 2006.

Thorning, T.K.. Bertram, H.C., Bonjour, J.P., Groot, L., Dupont, D., Feeney, G. e Givens, I. Whole dairy matrix or single nutrients in assessment of health effects: Current evidence and knowledge gaps. *The American Journal of Clinical Nutrition*, p. 1033-1045, 2017.

Van Dender, A.G.F. *Requeijão Cremoso e outros queijos fundidos: Tecnologia de Fabricação, Controle de Processo e Aspectos do Mercado*. 2ª Ed. Revisada e Ampliada – São Paulo: Setembro Editora, 2014.

Van Dender, A.G.F. *Requeijão cremoso e outros queijos fundidos: tecnologia de fabricação, controle do processo e aspectos de mercado*. São Paulo, SP: Fonte Comunicações e Editora Ltda, 2006. 392 p.

Vilela, D., Resende, J. C., Leite, J. B. e Alves, E. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. *Revista de Política Agrícola*. 2017.

Zhang, R.H., Mustafa, A.F., NG-Kwai-Hang, K.F. e Zhao, X. Effects of freezing on composition and fatty acid profiles of sheep milk and cheese. *Small Ruminant Research*, v. 64, p. 203-210, 2006.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PARÂMETROS CINÉTICOS DE BIOCATALISADOR À BASE DE QUITOSANA ATIVADO COM GENIPINA

**Pâmela Cristina Lima, Isadora Gazoni, Alexandra de Carvalho, Darlene Carvalheiro, Elisandra Rigo**
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CEO – Pinhalzinho/SC
pam_e4@hotmail.com, elisandra.rigo@udesc.br, isadora_gazoni@hotmail.com, alexandra.carvalho@edu.udesc.com, darlene.cavalheiro@udesc.br

**Débora de Oliveira**
Universidade Federal do Estado de Santa Catarina – UFSC – Florianapólis/SC
debora.oliveira@ufsc.br

***Resumo:*** *A imobilização de enzimas tem sido utilizada no intuito de melhorar ainda mais a economia dos processos, visando estabilidade, reutilização, recuperação, seletividade e alta qualidade do produto resultante. Em vista disso, o presente trabalho buscou avaliar a efetividade da ativação das esferas de quitosana com genipina para imobilização da enzima β-Galactosidase, através do estudo de parâmetros cinéticos (Km e Vmáx) da concentração de substrato versus a atividade enzimática. As esferas foram preparadas com quitosana e ácido acético, sonicadasem banho ultrassônico e gotejadas em solução de coagulação, e após secas. A ativação foi realizada com genipina 0,5% e a imobilização com solução de β-Galactosidase (56 U/ml). A reação enzimática teve como substrato o ONPG (o-Nitrophenyl β-D-galactopyranoside), variando suas concentrações (5, 15, 30 e 45 mM) e as atividades foram lidas com espectrofotômetro em 410 nm. Para os cálculos de Km e Vmáx foi utilizada a linearização de Lineweaver-Burk. A enzima imobilizada apresentou um Km alto, de 320 mM e uma Vmáx de 54,95 µmol/min.g enzima, indicando que a imobilização em esferas de quitosana ativadas com genipina é uma possibilidade viável para a enzima β-Galactosidase e posterior aplicação desta em produtos lácteos.*

***Palavras chave:*** *imobilização, β-galactosidase, lácteos.*

## 1. INTRODUÇÃO

As enzimas são consideradas biocatalisadores que aumentam as velocidades reacionais de vários processos biológicos, sendo também consideradas importantes devido ao apelo ecológico, por apresentar soluções "mais limpas" para a catálise de produtos de interesse (Mackenzie *et al*., 2015; Madhavan *et al*., 2017), já que a maior parte dos processos que envolvem catalizadores químicos usam solventes orgânicos ambientalmente nocivos e requerem alta energia para os processos (Mackenzie *et al*., 2015).

Desde as décadas de 1940 e 1960, as enzimas têm sido utilizadas em aplicações industriais. Aplicações de enzimas livres e imobilizadas ocorrem nas áreas de alimentos, medicina, farmacêutica, têxtil, agricultura, meio ambiente, indústrias química e bioquímica (Dicosimo *et al*., 2013), estas ganharam popularidade devido à sua ampla gama de aplicações, tanto atuais como potenciais. Atualmente, a maioria das aplicações enzimáticas é desenvolvida no nível industrial (Hettiarachchy *et al*., 2018).

Dentre os biocatalisadores industriais mais importantes estão as lactases (indústria de alimentos) (Albuquerque *et al*., 2016), lipases (biocombustível e indústria farmacêutica) (Santos *et al*., 2015), tripsina (indústria do couro) (Bhavsar *et al*.,2013), xilanase (indústria de papel e celulose) (Khatri *et al*., 2016), lipoxigenase e fitase (indústria alimentícia) (Rebello *et al*., 2017), proteases ativas a frio e α-amilase (indústria de detergentes) (Rai *et al*., 2017), hialuronidase (enzima farmacêutica) (Albuquerque *et al*., 2016).

A enzima β-galactosidase (EC 3.2.1.23), uma lactase, é utilizada na hidrólise da lactose, melhorando a solubilidade e digestibilidade do leite e seus derivados. A β-galactosidase (β-Gal) é uma enzima essencial no processo de fabricação

de laticínios com baixo teor de lactose, pois catalisa a decomposição da lactose em seus monossacarídeos individuais: glicose e galactose, bem como, alguns oligossacarídeos dentre os quais destaca-se o galacto-oligossacarídeos (GOS), açucares não digeríveis (Souza *et al*., 2018). Os laticínios com baixo teor de lactose são de alto valor para os lactentes, pessoas cujo jejuno contém apenas pequenas quantidades de β-gal. Portanto, a lactose ingerida não é hidrolisada; em vez disso, passa para o intestino grosso onde se acumula. Essa lactose acumulada pode interferir na absorção de cálcio. Também pode causar desidratação do tecido, flatulência e diarreia. A β-Gal também pode ser empregada para hidrolisar o teor de lactose no soro de leite. Este soro hidrolisado pode então ser transformado em xarope doce, que pode ser empregado em indústrias de alimentos (Panesar e Kumari, 2011), entre outras aplicações dessa enzima, como obtenção de prebióticos e probióticos.

A utilização industrial de enzimas é frequentemente dificultada devido à recuperação dessas enzimas solúveis nas soluções de reação. Assim, as enzimas solúveis têm se perdido na solução de reação, e isso também poderia levar a uma contaminação do produto final com as enzimas proteicas. Contudo, está desvantagem pode ser superada pela imobilização dessas enzimas (Wahba, 2018).

O uso da tecnologia de imobilização enzimática pode melhorar ainda mais a economia dos processos nos quais se busca a utilização de resíduos devido a diferentes vantagens em relação aos sistemas que utilizam micro-organismos ou enzimas livres (Rodrigues *et al*., 2013).

As enzimas imobilizadas são definidas como as fisicamente confinadas ou localizadas em uma certa região delimitada do espaço com retenção da sua atividade catalítica, que pode ser utilizada repetidamente e continuamente (Chibata e Tosa, 1977). A imobilização de enzimas é um pré-requisito para muitos dos seus usos como biocatalisadores industriais, pois o principal objetivo da imobilização é facilitar a reutilização enzimática (Sheldon e Pelt, 2013). No entanto, muitos pesquisadores concentram seus trabalhos em como a imobilização pode melhorar outras propriedades enzimáticas, como estabilidade, atividade ou seletividade (Rodrigues *et al*., 2013).

Existem muitas razões ou vantagens para usar técnicas de imobilização, essas incluem: permitir a recuperação e a reutilização de uma enzima muitas vezes (regeneração e reciclagem); obtenção fácil do produto e separação de enzimas; possível interromper a reação enzima-substrato a qualquer momento, apenas removendo a enzima da solução; possível iniciar ou continuar a reação a qualquer momento, colocando a enzima e o substrato em contato; o produto resultante não está contaminado com a enzima; alta qualidade do produto resultante; aumenta a estabilidade da enzima, melhora suas propriedades e são menos propensas a desnaturar; a reação é mais natural e pode ser realizada em temperaturas mais baixas do que usando um catalisador químico, para que a energia seja utilizada de forma mais eficiente; a técnica é adequada para fins analíticos, uma vez que não há necessidade de uso de reagente; as enzimas geralmente têm uma meia-vida longa, sendo possível predizer a diminuição da atividade; melhora a economia de átomos e reações e / ou os custos de produção; em alguns casos, a eficiência catalítica da enzima imobilizada é melhor; controle da reação; econômico e simples de usar; as enzimas são específicas, o produto final é isento de enzimas e, portanto, sem necessidade de purificação, e mais ambientalmente correto em comparação a reações químicas devido à menor geração de $CO_2$ (Kawachi *et al*., 2014; Zucca *et al*., 2016).

O uso da quitosana [(1 4 4) -2-amino-2-desoxi-d-glucana] como suporte à imobilização de enzimas oferece uma série de características desejáveis, incluindo não toxicidade, biocompatibilidade, inércia fisiológica, capacidade biodegradável, uma notável afinidade para as proteínas, barato e versátil, podendo adotar diversas formas e tamanhos, sendo ideal para uso em bioprocessos (Klein *et al*., 2016). A estrutura da quitosana faz dela um suporte heterofuncional para imobilização enzimática. Por definição, um suporte heterofuncional permite a imobilização de uma enzima por mais de um mecanismo. Por exemplo, a primeira imobilização pode ser por adsorção, iônica ou hidrofóbica, e posteriormente ligação covalente, formada para estabilizar a enzima (Zaak *et al*.,2017).

Além disso, propriedades mecânicas de suportes obtidos de quitosana podem ser facilmente melhoradas por reticulação com glutaraldeído, genipina e outros reagentes. A genipina, obtida a partir dos frutos de *Genipa americana* e *Gardenia jasminoides* Ellis, onde após a extração, o geniposídeo é hidrolisado formando a genipina aglicona com a d-glicosidase em um processo microbiológico envolvendo *Penicillium nigricans*, tem sido utilizada como agente reticulador para imobilização. É relatado que a genipina pode ser cerca de 5.000 a 10.000 vezes menos citotóxica do que o glutaraldeído, podendo assim ser utilizada em processos alimentícios, em busca de alternativas mais limpas (Muzzarelli, 2009).

Alguns estudos relataram a grande capacidade de genipina para gerar “crosslinking” entre proteínas e polímeros como colágeno, gelatina e quitosana, podendo ligar-se as proteínas de forma diferente. Em valores baixos de pH ocorre o ataque nucleofílico da amina primária da proteína ao número de carbono 3 da genipina. Depois, ocorre a condensação entre o grupo aldeído formado e as aminas secundárias. Sob condições alcalinas, o anel de genipina sofre um ataque pela presença de grupos hidroxila, levando à formação de ligações proteína-genipina (Hobbs *et al*., 2018)

Devido a essa habilidade, a genipina é considerada um bom ativador de suporte para imobilização enzimática. Além disso, a genipina é uma molécula versátil, na polimerização processo. Variáveis como concentração, pH, tempo e temperatura, presença ou ausência de aminoácidos específicos e suas concentrações, oxigênio podem mudar a maneira como a genipina reage e polimeriza, podendo gerar diferentes estruturas, cores e capacidades, como resistência mecânica e capacidade de inchamento (Neri-Numa *et al*., 2017).

Apesar das vantagens da imobilização de enzimas, as disponíveis comercialmente são caras, devido a suas formas de imobilização e os suportes utilizados (Sheldon e van Pelt, 2013). Assim, são necessários novos suportes e métodos de imobilização que sejam economicamente viáveis, seguros para uso em alimentos e outros processos e, principalmente, eficientes.

Por isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a efetividade da ativação das esferas de quitosana a partir da genipina, para imobilização da enzima β-Gal, através do estudo de parâmetros cinéticos da concentração de substrato e atividade enzimática.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

A β-Gal de *Kluyveromyces lactis* (EC 3.2.1.23) foi gentilmente cedida pela empresa Prozyn. Quitosana padrão foi adquirida da Polymar. Substrato ONPG (o-Nitrophenyl β-D-galactopyranoside), ONP (2-Nitrophenol) e genipina de grau analítico foram adquiridos da Sigma-Aldrich. Os demais produtos químicos provenientes da Reatec e Dinâmica.

### 2.2 Métodos

#### 2.2.1 Preparo das Esferas de Quitosana

As esferas de quitosana foram preparadas seguindo metodologia proposta por Duarte *et al*. (2017), com modificações. 0,2 g de quitosana foram solubilizadas em 10 mL de solução de ácido acético 0,35 M e submetidas a sonicação por 1 hora e após gotejamento com uma seringa e agulha em solução de coagulação (hidróxido de sódio 1 M e etanol 26% v/v) gelada (10 °C), sob agitação (velocidade 3, aproximadamente 250 rpm) em um agitador magnético. As esferas permaneceram em repouso por 3 horas em geladeira (10 °C), seguida de lavagem com água destilada até sua neutralidade e posterior secagem em estufa a vácuo (1 hora).

#### 2.2.2 Ativação do Suporte com Genipina e Imobilização da β-Gal

A ativação das esferas de quitosana e a imobilização da enzima ocorreu conforme fluxograma apresentado na Fig. 1 (Klein *et al*.,2016; Duarte *et al*., 2017; Bellé *et al*., 2018).

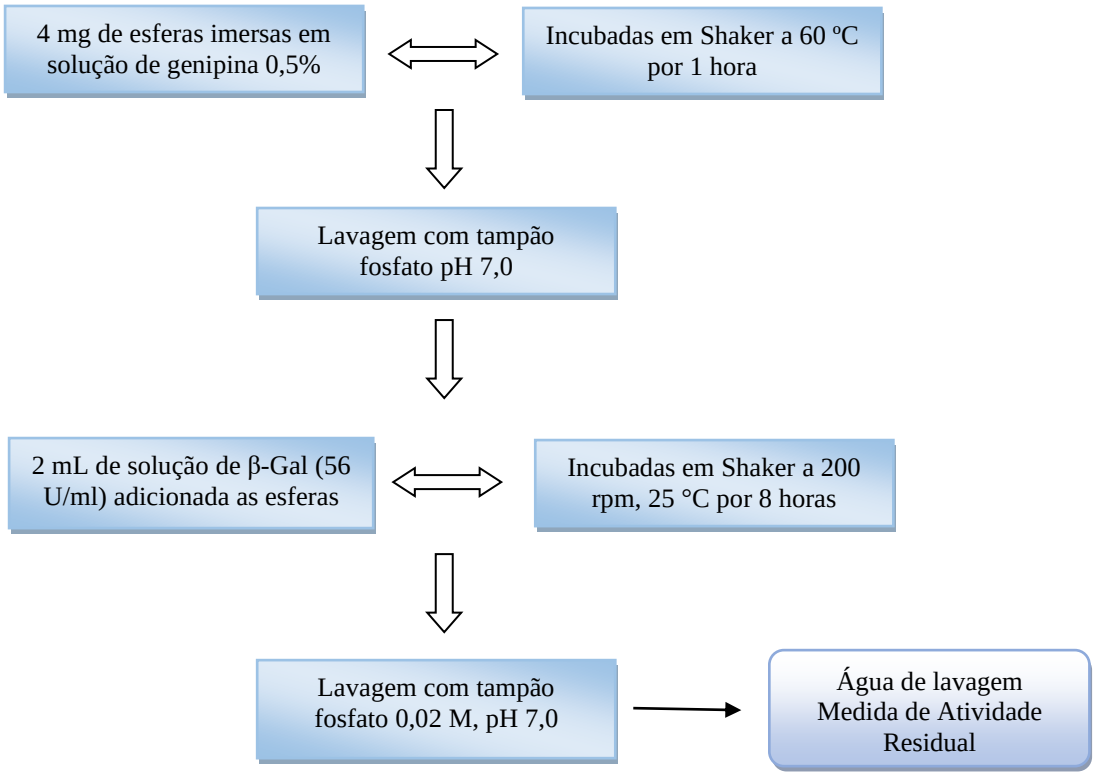



Figura 1. Fluxograma da imobilização da β-Gal em quitosana ativada com Genipina.

Após a lavagem as esferas foram armazenadas em tampão fosfato 0,02 M, pH 7,0 ou utilizadas na cinética de reação.

### 2.2.3 Atividade Enzimática

A atividade da β-galactosidase foi determinada usando ONPG como substrato. Para isso, 25 μL da enzima livre foi adicionada à 10 mL de tampão fosfato 0,02 M, pH 7,0 e 10 mM de ONPG e a reação foi deixada prosseguir por 10 min à 37 °C e 150 rpm em shaker. A reação foi interrompida adicionando solução de carbonato de sódio 1 M e a absorbância foi medida a 410 nm em espectrofotômetro (Song *et al*., 2013). A atividade da enzima imobilizada também foi medida usando ONPG como substrato. A reação foi realizada adicionando 30 esferas de quitosana (4 mg de suporte em base seca) a 20 mL de tampão fosfato 0,02 M, pH 7,0 e 10 mM de ONPG, conduzida a 37 °C e 150 rpm, com coletas de 1 ml a cada 10 min, até o término da reação, interrompida com 0,2 mL de carbonato de sódio 1 M, realizando a cinética enzimática. Uma unidade de atividade da β-galactosidase (U) foi definida como a quantidade de enzima que catalisa a conversão de 1 μmol de ONPG em ONP por minuto nas condições descritas acima.

Para o cálculo de atividade enzimática foi utilizada uma curva padrão de ONP.

### 2.2.4 Parâmetros Cinéticos

Os parâmetros cinéticos Km e Vmax da enzima imobilizada foram determinados por regressão não linear usando concentrações crescentes de ONPG em solução (de 5, 15, 30 e 45 mM em tampão fosfato 0,02 M, pH 7,0). Os resultados das atividades enzimáticas desses experimentos foram considerados as velocidades de reação da enzima (V), que juntamente com as concentrações finais do ONPG [S] foram empregados para construir o gráfico de Lineweaver-Burk (Borzani *et al*., 2001). As equações das linhas de tendência, "Eq.1", que apareceram neste gráfico foram então empregadas para estimar a Constante de Menten (Km) e a taxa máxima de reação (Vmax) dos imobilizados.

$$1/V = Km/Vmax*1/[S] + 1/Vmax \quad (1)$$

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações das linhas de tendência que apareceram no gráfico de Lineweaver-Burk "Fig. 2" foram empregadas para calcular o Km e o Vmáx das amostras de β-gal imobilizadas. Na tabela 1 estão os dados de atividades obtidos em cada concentração de ONPG investigado.

Os valores encontrados com a equação da reta através da linearização para a β-gal imobilizada foram de 54,95 μmol/min.g enzima para Vmax e 320 mM para Km. Vmax é a taxa máxima na qual as enzimas convertem seus substratos em produtos, sendo fortemente afetada por quaisquer restrições que limitariam o acesso dos substratos às enzimas (Jamal *et al*., 2012) ou limitar a difusão dos produtos para longe das enzimas. Os valores de Km demonstram a afinidade da enzima pelo substrato, quanto maior esse valor, menor é a afinidade. O alto valor de Km (320 mM) indica que sua afinidade pelo substrato (ONPG) é baixa, assim como a capacidade de estabelecer-se o complexo enzima-substrato (Fatarella *et al*., 2014). Durante o processo de imobilização, a β-gal pode formar ligações covalentes multipontos com seu suporte de imobilização através da reação com as partes da quitosana reticulada. Essas ligações fazem com que a enzima atinja uma estrutura rígida (Rodrigues *et al*., 2013), que podem ter sido menos capazes de estabelecer um complexo enzima-substrato (Wahba, 2018).

Tabela 1. Resultados experimentais das atividades enzimáticas da β-gal.

| Concentração do Substrato (mM) | Atividade Enzimática (U/g) |
|---|---|
| 5 | 0,86 |
| 15 | 1,78 |
| 30 | 6,05 |
| 45 | 13,83 |

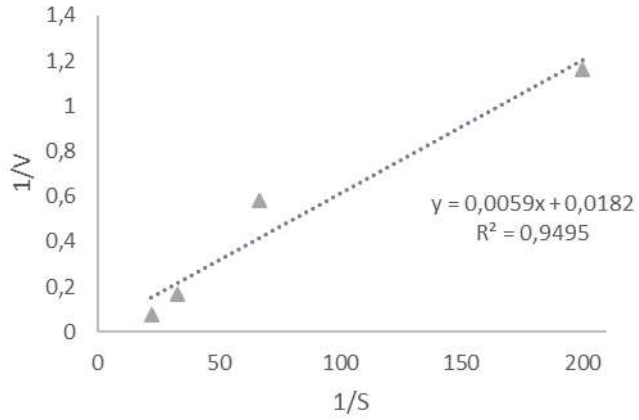



Figura 2. Linearização de Lineweaver-Burk.

Recentemente, Flores *et al*. (2019) estudaram a influência dos parâmetros de reação de polimerização entre genipina e quitosana para imobilização enzimática da β-gal proveniente de *Aspergillus oryzae* e encontraram valores de 54,4 mM para Km e 20,35 μmol.min$^{-1}$.mg$^{-1}$ de proteína para Vmax.

No trabalho de Wahba (2018), os resultados encontrados para a β-gal de *Aspergillus oryzae* imobilizada em quitosana foram de 11,9 μmol min.mg para Vmax e um Km de 187,9 mM. Na literatura, trabalhos com a β-gal de *Kluyveromyces lactis* apresentando os valores de Km e Vmáx são escassos, e apesar dos valores encontrados nesse estudo serem maiores dos encontrados para a β-gal de *Aspergillus*, podem ser em relação as diferenças e especificidades de cada enzima. Outra possível explicação é a limitação difusional na enzima imobilizada, devido a menor acessibilidade do substrato ao local catalítico por prováveis alterações conformacionais após imobilização ou impedimentos estéricos (Gennari *et al*., 2018).

Assim, os resultados encontrados apresentam-se em concordância com a literatura, analisando o tipo de suporte e enzima utilizados nesse estudo.

## 4. CONCLUSÃO

Um método eficaz de imobilização resulta em uma boa conversão de produto. Os valores encontrados para os parâmetros cinéticos deste estudo mostram que houve uma baixa afinidade da enzima β-galactosidade pelo substrato utilizado (ONPG). Porém, os valores de Vmax, que indicam a conversão do substrato em produto, foi alta. Portanto, a imobilização da β-gal de *Kluyveromyces lactis* em quitosana ativada com genipina teve eficiência. Esses resultados sugerem estudos adicionais com diferentes enzimas, diferentes massas, substratos diferentes, estrutura quaternária diferente, pois com condições de ativação variadas, é possível alterar a forma de genipina reticulada com o suporte e, portanto, alterar a matriz de suporte e, consequentemente, a conversão de substrato em produto (atividades enzimáticas).

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESC, ICL, UDESC E PROZYN pelos auxílios didáticos e financeiros.

## 6. REFERÊNCIAS

Albuquerque, T.L., Peirce, S., Rueda, N., Marzocchella, A., Gonçalves, L.R.B., Rocha, M.V.P., Fernandez-Lafuente, R., 2016. "Ion exchange of β-galactosidase: The effect of the immobilization pH on enzyme stability". *Process Biochemistry*, Vol. 51, p. 875-880.

Bellé, A.S., Hackenhaar, C.R., Spolidoro, L.S., Rodrigues, E., Klein, M.P., Hertz, P.F., 2018. "Efficient enzyme-assisted extraction of genipin from genipap (Genipa americana L.) and its application as a crosslinker for chitosan gels". *Food Chemistry*, Vol. 246, p. 266–274.

Bhavsar, K., Gujar, P., Shah, P., Kumar, V.R., Khire, J.M., 2013. "Combinatorial approach of statistical optimization and mutagenesis for improved production of acidic phytase by NCIM Aspergillus niger 563 under submerged fermentation condition". *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 97, p. 673-679.

Borzani, W., Schmidell, W., Lima, U.A., Aquarone, E.C, 2001. Biotecnologia Industrial. São Paulo: Blucher, 1 ed.

Chibata, I. e Tosa, T., 1977. "Transformations of organic compounds by immobilized microbial cells". *Advances in Applied Microbiology*, Vol. 22, p. 1-27.

Dicosimo, R., Mcauliffe, J., Poulose, A.J., Bohlmann, G., 2013. "Industrial use of immobilized enzymes, Review article". *Chem. Soc. Rev*., Vol. 42, p. 6437–6474.

Duarte, L.S., da Schöffer, J., Lorenzoni, A.S.G., Rodrigues, R.C., Rodrigues, E., Hertz, P.F., 2017. "A new bioprocess for the production of prebiotic lactosucrose by an immobilized β-galactosidase". *Process Biochem.*, Vol. 55, p. 96–103.

Fatarella, E., Spinelli, D., Ruzzante, M., Pogni, R., 2014. "Nylon 6 film and nanofibercarriers: preparation and laccase immobilization performance". *J. Mol. Catal. Enzym.*, Vol. 102, p. 41–47.

Flores, E.E.E., Cardoso, F.D., Siqueira, L.B., Ricardi, N.C., Costa, T.H., Rodrigues, R.C., Klein, M.P.,Hertz, P.F., 2019. "Influence of reaction parameters in the polymerization between genipin and chitosan for enzyme immobilization". *Process Biochemistry*, Vol.84, p. 73-80.

Gennari, A., Mobayed, F.H., Volpato, G., de Souza, C.F.V., 2018. "Chelation by collagen in the immobilization of Aspergillus oryzae β-galactosidase: a potential biocatalyst to hydrolyze lactose by batch processes". *Int. J. Biol. Macromol.*, Vol.109, p. 303–310.

Hettiarachchy, N.S., Feliz, D.J, Edwards, J.S, Horax, R., 2018. "The use of immobilized enzymes to improve functionality". *Proteins in Food Processing*, p.569-597.

Hobbs, C.A., Koyanagi, M., Swartz, C., Davis, J., Maronpot, R., Recio, L., Hayashi, S., 2018. "Genotoxicity evaluation of the naturally-derived food colorant, gardenia blue, and its precursor, genipin ". *Food Chem. Toxicol.*, Vol. 118, p. 695–708

Jamal, F., Qidwai, T., Singh, D., Pandey, P.K., 2012. "Biocatalytic activity of immobilized pointed gourd (Trichosanthes dioica) peroxidase–concanavalin A complex on calcium alginate pectin gel". *J. Mol. Catal. B: Enzym.*, Vol. 74, p. 125–131.

Kawachi, Y., Kugimiya, S., Nakamura, H., Kato, K., 2014. "Enzyme encapsulation in silica gel prepared by polylysine and itscatalytic activity". *Appl. Surf. Sci*., Vol. 314, p. 64–70.

Khatri, V., Hébert-Ouellet, Y., Meddeb-Mouelhi, F., Beauregard, M., 2016. "Specific tracking of xylan using fluorescent-tagged carbohydrate-binding module as molecular probe". *Biotechnology Biofuels*, Vol. 9, p.1-13.

Klein, M.P., Hackenhaar, C.R., Lorenzoni, A.S.G., Rodrigues, R.C., Costa, T. M.H., Ninow, J.L., Hertz, P.F., 2016. "Chitosan crosslinked with genipin as support matrix for application in food process: Support characterization and - d galactosidase immobilization". *Carbohydrate Polymers*, Vol. 137, p. 184–190.

Mackenzie A.K., Naas, A.E., Kracun, S.K., Schückel, J., Fangel, J.U.; Agger, J.W., Willatsb, W.G.T., Eijsinka, V.G. H., Pope, P.B., 2015. "Apolysaccharide utilization locus from an uncultured bacteroidetes phylotype suggests ecological adaptation and substrate versatility". *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.81, p. 187-195.

Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., Sukumaran, R.K., Pandey, A., 2017. "Strategies for design of improved biocatalysts for industrial applications". *Bioresource Technology*, Vol. 245, p. 1304-1313.

Muzzarelli, R.A.A., 2009. "Genipin-crosslinked chitosan hydrogels as biomedicaland pharmaceutical aids". *Carbohydrate Polymers*, Vol. 77, p. 1–9.

Neri-Numa, I.A., Pessoa, M.G., Paulino, B.N., Pastore, G.M., 2017. "Genipin: a natural blue pigment for food and health purposes". *Trends Food Sci. Technol.*, Vol. 67, p. 271-279.

Panesar, P.S., Kumari, S., 2011. "Lactulose: production, purification and potential applications". *Biotechnology Advances*, Vol. 29, p. 940–948.

Rai, A.K., Sanjukta, S., Chourasia, R., Bhat, I., Bhardwaj, P.K., Sahoo, D., 2017. "Production of bioactive hydrolysate using protease, β-glucosidase and α- amylase of Bacillus spp. isolated from kinema". *Bioresource Technology*, Vol. 235,p. 358-365.

Rebello, S., Jose, L., Sindhu, R., Aneesh, E.M., 2017. "Molecular advancements in the development of thermostable phytases". *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 101, p. 2677-2689.

Rodrigues, R.C., Ortiz, C., Berenguer-Murcia, A., Torres, R., Fernandez-Lafuente, R., 2013. "Modifying enzyme activity and selectivity by immobilization". *Chemical Society Reviews*, Vol. 42, p. 6290-6307.

Santos, J.C.S.; Barbosa, O., Ortiz, C., Berenguer-Murcia, A., Rodrigues, R.C., Fernandez-Lafuente, R., 2015. "Importance of the Support Properties for Immobilization or Purification of Enzymes". *ChemCatChem*, v. 7, p. 2413-2432, 2015.

Sheldon, R. A. and S. VAN PELT, S., 2013. "Enzyme immobilisation in biocatalysis: why, what and how". *Chemical Society Reviews*, Vol. 42, p. 6223-6235.

Song, Y.S., Lee, H.U., Park, C., Kim, S.W., 2013. "Optimization of lactulose synthesis from whey lactose by immobilized β-galactosidase and glucose isomerase". *Carbohydrate Research*, 369, p. 1–5.

Souza, C.J.F., Rojas, E.E.G. and Trindade, C.S.F., 2018. "Lactase (b-galactosidase) immobilization by complex formation: Impact of biopolymers on enzyme activity". *Food Hydrocolloids*, Vol. 83, p. 88-96.

Wahba, M.I., 2018. "Processed gellan gum beads as covalent immobilization carriers". *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, Vol. 14, p. 270–278.

Zaak, H., Peirce, S., de Albuquerque, T., Sassi, M., Fernandez-Lafuente, R., 2017." Exploiting the versatility of aminated supports activated with glutaraldehyde to immobilize β-galactosidase from Aspergillus oryzae". *Catalysts*, Vol. 7, p. 250.

Zucca, P., Fernandez-Lafuente, R. and Sanjust, E., 2016. "Agarose and its derivatives assupports for enzyme immobilization". *Molecules*, Vol. 21, p. 1577. https://doi.org/10.3390/molecules21111577.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE AVEIA PRETA SOB DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS COM LEDS

**Gabriela Girelli Ambros**
**Mateus Franklin Marchetto**
**Paulo Sérgio Gomes da Rocha**
**Sergio Henrique Mosele**
**Amito José Teixeira**
**Antonio Sergio do Amaral**
**Hueliton José Strogulski Magnanti**
**Lucas Adona**
**Vinícius Gustavo Lira Borsa**
**Maicon Augusto Lussani**

Universidade Regional Integrada do alto Uruguai e das Missões – URI. Rod. RS 331, nº 345, Bairro Demoliner, Erechim-RS
gabrielaambross@gmail.com; mateusmarchetto@hotmail.com; p.sergio.r@uol.com.br; sergio@uricer.edu.br; amito@uricer.edu.br; asamaral@uricer.edu.br; huelitonmagnante@gmail.com; lucasadona@hotmail.com; vinilira196@gmail.com; maicon.5@hotmail.com

**Resumo:** *O objetivo neste trabalho foi avaliar a produção de forragem hidropônica de aveia preta sob diferentes intensidades luminosas com LEDs. Para a realização do experimento foram utilizadas sementes de aveia preta cultivar BRS 139. Diariamente as plantas eram regadas com solução hidropônica de Hoagland com pH ajustado para 6,5. Os tratamentos foram constituídos por diferentes intensidades luminosas (0; 25; 50; 75; 100 µmol·m$^{-2}$·s$^{-1}$), sendo o fotoperíodo de 16 horas. O tratamento controle (zero) consistiu da ausência de luz artificial. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições por tratamento. Após 11 dias de cultivo sob as diferentes intensidades luminosas foram avaliados o comprimento da parte aérea, o comprimento das raízes e a massa fresca da planta (parte aérea e raízes). Em relação a variável altura da planta, obteve-se comportamento quadrático à medida que a intensidade luminosa é aumentada. O comprimento máximo estimado (15,15 cm) foi determinado na intensidade luminosa de 36,45 µmol m$^{-2}$ s$^{-1}$. O uso de luz artificial poderá contribuir para a otimização do crescimento das plantas de aveia até na intensidade máxima estimada, pois na ausência de luz artificial, a altura média da planta foi 12 cm.*

***Palavras chave:*** *Qualidade da luz, diodos emissores de luz, forragem, hidroponia, cultivo protegido.*

## 1. INTRODUÇÃO

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) oferece alta produtividade de massa verde, é menos vulnerável às doenças, é recomendada preferencialmente para pastagem, de forma isolada ou consorciada com outras forrageiras. A aveia tem sido reconhecida por possuir altos conteúdos proteicos, várias cultivares recentes possuem mais de 20% de teor proteico, balanço de aminoácidos bastante equilibrado, lipídios com composição de ácidos graxos adequada, amido e fibra dietética solúvel (LUIZ,1999). O cultivo de forragem hidropônica pode ser considerado como uma tecnologia e/ou ferramenta tecnológica de produção de fitomassa obtida por meio da germinação de sementes viáveis e do crescimento inicial de plantas (FAO, 2001).

A hidropônia pode ser utilizada para a produção de forragens verdes em um ambiente higiênico livre de produtos químicos tais como inseticidas, herbicidas, fungicidas, é uma técnica bem conhecida para elevada produção de forragem, a produção em todo o ano e o menor consumo de água, ao contrário de sistema de produção no campo que usam práticas de irrigação, o sistema de forragem hidropônica usa sistema de recirculação, reduzindo assim as águas residuais.

Nos últimos anos, o avanço tecnológico ocorrido nos diodos emissores de luz (LEDs) têm contribuído para que eles alcancem larga aplicação comercial, podendo inclusive ser aplicado nos cultivos hidropônicos. Seu uso tem sido impulsionado com o aquecimento global e com a preocupação ambiental, pois, cada vez mais, tem-se buscado equipamentos mais eficientes e menos poluentes (NHUT et. al, 2003)

Os LEDs são considerados como uma alternativa bastante promissora, com aplicação comercial por apresentar características ímpares em relação às lâmpadas convencionais. Entre suas vantagens estão seu tamanho reduzido, otimizando espaço, comprimento de onda especifico, intensidade e qualidade de luz ajustáveis, alta eficiência de conversão fotoelétrica, baixa emissão de calor, ausência de substância tóxica como mercúrio, longo período de vida útil, podendo atingir até 100.000 horas (NHUT et. al, 2003).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de foragem hidropônica de aveia preta sob diferentes intensidades luminosas com LEDs.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em câmara de germinação do Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim. Para realização do experimento foram utilizadas sementes de aveia preta, cultivar BRS 139.

As sementes da aveia preta foram desinfestadas com uma solução de 2,0% de hipoclorito de sódio, durante três minutos. Transcorrido esse período, foi realizado o tríplice enxague em água corrente, para que as sementes não tenham resíduos de hipoclorito de sódio. Após o exangue o recipiente com as sementes foi completado com água, e deixado em repouso por 12 horas. Posteriormente, realizou-se a substituição da água e deixou-se por mais 12 horas.

Após esse período, as sementes desinfestas foram colocadas em bandejas plásticas com 61,5 cm de comprimento por 40 cm de largura e 3,5 cm de profundidade. Em cada bandeja colocou-se uma camada de semente com aproximadamente 1 cm de altura. Logo após, as bandejas contendo as sementes foram cobertas com papel pardo para impedir a entrada de luz por 72 horas ou até a germinação das sementes (Fig. 1).

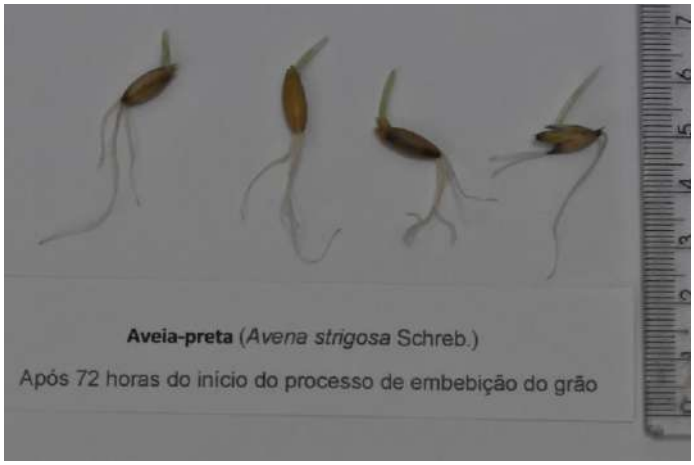



Figura 1. Aspecto visual das sementes de aveia preta germinadas após 72 horas do processo de embebição das sementes. Erechim-RS, 2019.

Diariamente as sementes eram hidratadas com água, com o auxílio de um borrifador, visando manter a umidade e evitar o excesso de água para não comprometer a germinação. Após a germinação das sementes, as bandejas foram transferidas para câmara de crescimento, onde foram mantidas sob lâmpadas LEDs constituídas por 80% de LEDs vermelhos e 20% de LEDs azuis.

Diariamente as plantas eram regadas com solução hidropônica de Hoagland e Arnon (1952) com pH ajustado para 6,5. Os tratamentos foram constituídos por diferentes intensidades luminosas (0; 25; 50; 75 e 100 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), sendo o fotoperíodo de 16 horas. O tratamento controle (zero) consistiu da ausência de luz artificial. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições por tratamento.

Após 11 dias de cultivo sob as diferentes intensidades luminosas, foram avaliados o comprimento da parte aérea, o comprimento das raízes e a massa fresca da planta (parte aérea e raízes).

Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância utilizando o programa estatístico SANEST (Sistema de Análise Estatística). Sendo as médias obtidas comparadas estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito significativo do fator intensidade luminosa para todas as variáveis analisadas (altura da planta, comprimento médio das raízes e massa fresca da parte aérea).

Em relação a variável altura da planta, pode-se observar na Fig. 2 um comportamento quadrático à medida que a intensidade luminosa é aumentada. O comprimento máximo estimado (15,15 cm) foi determinado na intensidade luminosa de 36,45 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$. Ainda na mesma figura, pode-se notar que o uso de luz artificial poderá contribuir para a otimização do crescimento das plantas até a intensidade máxima estimada, pois na ausência de luz artificial a altura média da planta foi 12 cm. O presente resultado obtido para a testemunha é semelhante aos obtidos por Santos et al. (2010) que avaliou o cultivo de aveia, cevada e centeio por 14 dias.

É conhecido que a radiação solar é o principal fator que limita o rendimento (crescimento e desenvolvimento) das espécies tanto no campo, como em ambientes protegidos, especialmente nos meses de inverno e em altas latitudes (TAIZ & ZIGER, 2004). Na região sul do Brasil, de modo geral, o período de inverno coincide com período de baixas temperaturas e também redução da radiação solar incidente; principalmente no interior do ambiente de cultivo protegido. Deste modo, a necessidade de suplementação de luz artificial nos ambientes de cultivos protegido talvez esteja relacionada com a referida época do ano e/ou densidade de plantas nas áreas de cultivo.

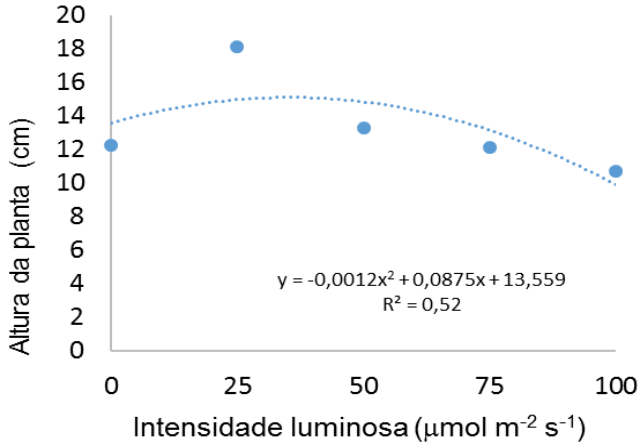



Figura 2. Altura da planta de aveia preta cultivadas sob diferentes intensidades luminosas com LEDs, após 11 dias de cultivo. URI Erechim-RS, 2019

Quanto a variável comprimento das raízes das plantas de aveia preta (Fig. 3), pode-se observar um comportamento linear crescente a medida que a intensidade luminosa é aumentada. O maior comprimento médio das raízes de aveia preta (4,7 cm) foi obtido na intensidade de 100 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$. Embora na produção de pastagem hidropônica o interesse maior seja pela maior produção de massa verde (parte aérea), plantas que apresentam melhor sistema radicular (número e comprimento das raízes) poderão contribuir para a maior eficiência na absorção dos nutrientes da solução nutritiva.

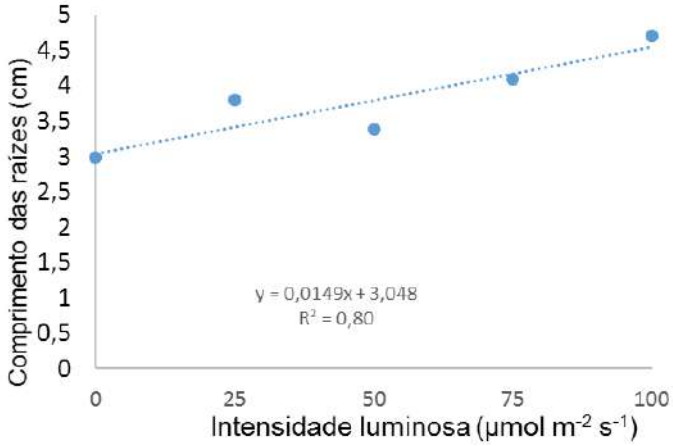



Figura 3. Comprimento das raízes das plantas de aveia preta cultivada sob diferentes intensidades luminosas com LEDs, após 11 dias de cultivo. URI Erechim-RS, 2018.

Quanto a variável massa fresca da parte aérea, nota-se um comportamento linear com tendência constante, a medida que a intensidade luminosa foi aumentada (Fig. 3). Ainda na mesma figura, pode-se verificar que a massa fresca por planta variou de 0,107 mg (tratamento controle) a 0,115 mg na intensidade de 25 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, nota-se, portanto, que ao comparar as médias absolutas não há diferença entre elas para esta variável (Fig. 4, 5, 6, 7 e 8).

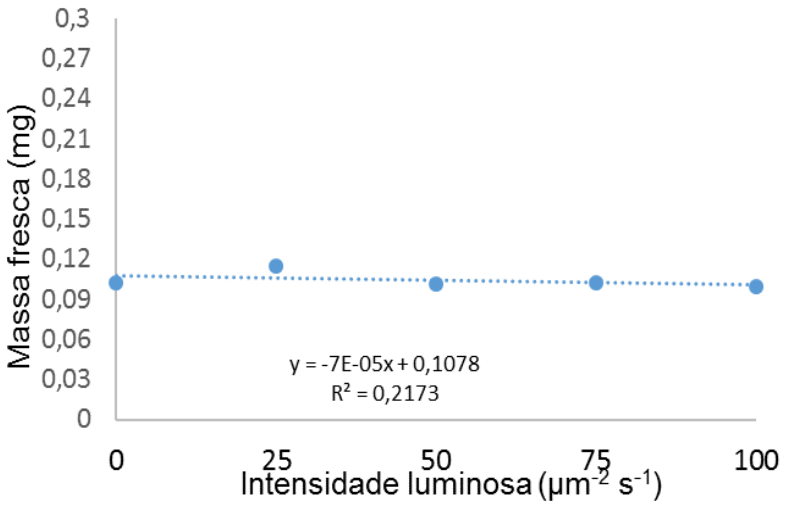



Figura 4. Massa fresca da parte aérea da aveia preta cultivada sob diferentes intensidades luminosas com LEDs, após 11 dias de cultivo. URI Erechim-RS, 2019.

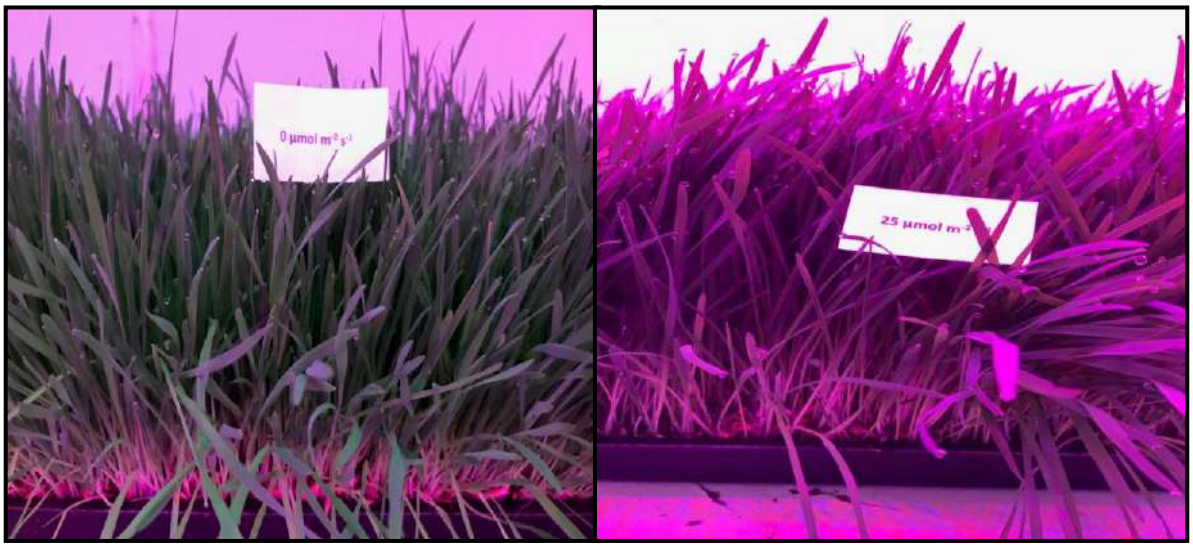



Figura 5. Aveia preta cultivada sob a intensidade luminosa 0 e 25 µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ respectivamente, após 11 dias de cultivo. URI Erechim-RS, 2019.

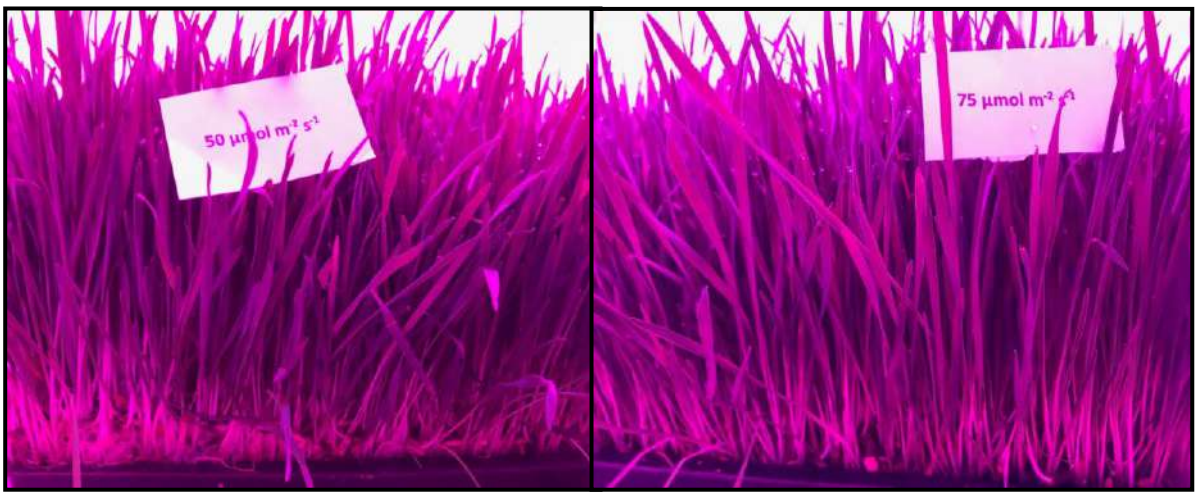


Figura 6. Aveia preta cultivada sob a intensidade luminosa 50 e 75 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$ respectivamente, após 11 dias de cultivo. URI Erechim-RS, 2019.




Figura 7. Aveia preta cultivada sob a intensidade luminosa 100 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, após 11 dias de cultivo. URI Erechim-RS, 2019.

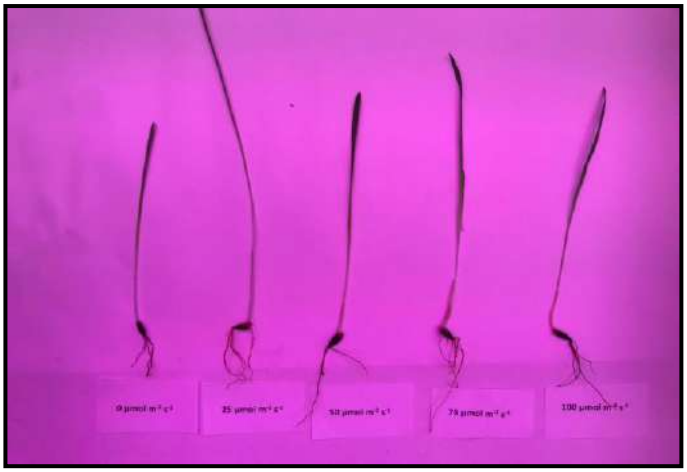


Figura 8. Comparativo aveia preta submetida sob diferente intensidade luminosa, após 11 dias de cultivo. URI Erechim-RS, 2019.

## 4. CONCLUSÃO

Para as condições usadas neste trabalho pode-se concluir que o uso de LEDs como fonte de iluminação para cultivo hidropônico de aveia preta em ambiente protegido poderá contribuir para o crescimento da planta. A altura da planta e comprimento das raízes são influenciados pela intensidade luminosa. No geral, a intensidade luminosa que possibilitara a maior altura da planta é 36,45 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$.

## 5. REFERÊNCIAS

FAO. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentacion, 2001. *Manual técnico forraje verde hidropónico*. Santiago, Chile, V.1, 73P.

Hoagland, D.R. and Arnon, D.I.,1950. T*he water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347p.

Luiz, V., 1999. *Estudo dos parâmetros ecofisiológicos para avaliação da qualidade de sementes de aveia branca* (*Avena sativa* L.) *produzidas na região sul do Brasil*. Dissertação (Mestrado em groecossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Nhut, D.T., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K., Tanaka, M., 2003. *Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs).* Plant Cell, Tissue and Organ Culture, v.73, p.43-52.
Zonta, E.P. and Machado A.A. 1992. *SANEST - Sistema de Análise Estatística*. ESALQ/USP, PIRACICABA.
Santos, O.S, et al., 2004. *Produção de forragem hidropônica de cevada e milho e seu uso na alimentação de cordeiros*. Santa Maria: UFSM/CCR, 8p. (Informe Técnico 04/2004).
Taiz, L., Zeiger, E., 2004. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO TEOR DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA CASCA E POLPA DE GUABIJU (*Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand)

**Ilizandra Aparecida Fernandes**
**Vanessa Barbieri Bombana**
**Amanda Elisabete Zambon**
**Andressa Franco Denti**
**Carolina Elisa Demaman Oro**
**Caroline Chies Polina**
**Diane Rigo**
**Yasmim Miryan Machado**
**Geciane Toniazzo Backes**
**Rogério Luis Cansian**
Engenharia de Alimentos e Engenharia Química - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), 99709-910, Erechim, RS, Brasil.
ilizandrafernandes@yahoo.com.br, vanessabbombana@yahoo.com.br, amandaelisabetezambon@gmail.com, andressa.franco98@hotmail.com, carolinae.oro@hotmail.com, caroline.polina@outlook.com, dianerigo@hotmail.com, yasmimmachado273@gmail.com, gtoniazzo@uricer.edu.br, cansian@uricer.edu.br

***Resumo.*** *Os alimentos de origem vegetal possuem alto teor de umidade o que os torna altamente perecíveis. A secagem destes alimentos, assim como o guabiju, tem como finalidade promover uma redução no teor de umidade assegurando um aumento na conservação dos produtos desidratados. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da temperatura no teor de compostos biotivos da casca e polpa de guabiju (Myrcianthes pungens (O. Berg) D. legrand). Foram realizadas análises de atividade de água, umidade, parâmetro de cor, determinação do teor de compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante da casca e polpa do guabiju in natura e desidratadas em temperatura de 80 °C. A secagem conferiu redução da umidade e baixo valor de atividade de água, proporcionando condições microbiológicas estáveis, quanto à cor, houve escurecimento de ambas amostras, com menor variação de cor na polpa desidratada. De forma geral as amostras apresentaram boa quantidade de compostos bioativos, com melhor atividade antioxidante para a casca desidratada, no entanto, houve degradação das antocianinas da casca submetida à secagem a 80 ºC.*

***Palavras-chave:*** *Myrcianthes Pungens, compostos bioativos, atividade antioxidante, secagem*

## 1. INTRODUÇÃO

A diversidade de frutos silvestres fonte de vitaminas, antioxidantes e óleos essenciais que o Brasil possui, destaca-se pelo potencial alimentar podendo ser comercializados ou utilizados para desenvolvimento de novos produtos. Desta forma, a fim de atender a demanda das indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas houve um aumento de pesquisas nessas áreas (Dalla Nora et al., 2014; Reis et al., 2016). O guabiju (*Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand) é um fruto nativo do Rio Grande do Sul, com ocorrência desde São Paulo até a Região Sul do país, incluindo países vizinhos. Os frutos são amplamente consumidos *in natura*, ou transformados em compotas, geleias e sucos. O guabiju é muito cultivado em pomares domésticos na região Sul do país, mas pode ser utilizado na ornamentação de cidades ou plantio misto como meio de conservação. Na medicina popular é utilizado principalmente por suas propriedades antidiarreicas, anti-inflamatória e anestésico local, encontradas no óleo da folha de guabiju (Souza, 2010).

O fruto possui polpa amarelada de sabor doce, com uma ou duas sementes, casca grossa e aveludada de coloração roxa, a árvore mede cerca de 20 metros e a frutificação ocorre de janeiro a fevereiro (Detoni, 2015). Devido ao curto período de frutificação do guabiju, faz-se necessário buscar meios de conservação para este fruto, como a desidratação que é uma técnica a qual busca preservar o alimento pela remoção da umidade por evaporação, fazendo com que o mesmo esteja disponível o ano todo, independente da safra do fruto (Meloni, 2003).

A desidratação é o método mais comumente empregado para produtos alimentares, é o processo de ar quente, em que o sólido a ser desidratado é exposto continuamente a uma corrente de ar aquecido. Durante a desidratação, ocorre a redução do teor de água e a elevação da concentração de açúcares, ácidos, sais e outros constituintes ao ponto de que haja a redução da atividade de água, auxiliando na inibição do crescimento de microrganismos e minimizando a taxa de reações químicas ou enzimáticas degradativas (Meloni, 2003; Marcinkowski, 2006). Esse método consiste na etapa final de um processo industrial de alimentos, o qual determina de maneira geral a qualidade final do produto a ser fabricado (Jorge et al., 2013). Para que o processo realmente seja efetivo, torna-se indispensável otimizar as condições da operação de secagem, em especial a temperatura, com o intuito de que o processo e a qualidade final do produto desidratado sejam eficientes (Banga et al., 2003; Rodrigues, 2018). Assim, além de reduzir a atividade de água do alimento desidratado, também há redução de peso e volume do mesmo, conferindo uma vantagem econômica associada à operação de secagem, obtendo menores custos de transporte e armazenamento (Marcinkowski, 2006).

No metabolismo vegetal há produção de metabólitos primários e segundários, onde os primários são responsáveis pela fotossíntese e assimilação de nutrientes, e os secundários desempenham atividade relacionada à proteção da planta. Dentre os metabólitos secundários produzidos pelos vegetais, incluem-se os compostos bioativos (Silva et al., 2010), que são estruturas orgânicas, com baixo peso molecular, e que atuam beneficamente no organismo, estimulando o sistema imunológico, na regulação hormonal, redução da pressão arterial e do risco de doenças coronarianas e exercem atividade antioxidante, além de estarem associados à melhora do estado de saúde geral da população (Carratu, 2005).

Devido à existência de um grande número de compostos bioativos eles são divididos em: glicosinolatos, carotenoides e os polifenóis, estes são divididos em ácidos fenólicos, estilbenos, lignanas (em fitoestrógenos) e os flavonoides, que por sua vez, se dividem em isoflavonas, flavonas, flavononas, flavonols, flavonóis e antocianinas (Horst e Lajolo, 2007).

Em relação aos mecanismos de ação, os compostos fenólicos apresentam atividade antioxidante, modulação das atividades de algumas enzimas específicas, atuam como agente antibiótico, antialergênico e anti-inflamatório, assim como auxiliam na redução do risco de desenvolver doenças crônicas não transmissíveis (Manach, 2004).

Seleem et al., (2016) relataram que os flavonoides desempenham diversas funções biológicas, auxiliando nos processos anti-inflamatórios, antimicrobianos, antifúngicos, antivirais e antioxidantes, promovendo diversos benefícios à saúde.

Diante do exposto, o presente trabalho se propôs a avaliar a influência da temperatura no teor de compostos biotivos da casca e polpa de guabiju (*Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. legrand).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Colheita e armazenamento dos frutos

No período de janeiro e fevereiro de 2018, nas coordenadas latitude: 27º 56' 12" S e longitude: 52º 25' 35" W, foram colhidos os frutos do guabiju (*Myrcianthes pungens* (O. Berg) D. Legrand). Deste, uma amostra de galho com folhas e frutos foi incorporado no Herbário Pe. Balduíno Rambo (HPBR), na URI Erechim, sob o número de registro de exsicata 12156. Logo após a colheita, os frutos foram selecionados manualmente e lavados em água potável corrente. Em seguida foram imersos em solução de NaClO a 200 ppm durante 15 minutos. Transcorrido este período, os frutos lavados novamente e secos com auxílio de papel toalha. Finalizada esta etapa, os frutos foram acondicionados em embalagens de polietileno, e identificados com peso e data de colheita, e por fim, foram submetidos ao congelamento à - 20 ºC até o início das análises.

### 2.2 Secagem da polpa do guabiju

A secagem da polpa do guabiju foi realizada em estufa com circulação de ar (Marca Marconi, modelo MA 037, Brasil). As amostras foram dispostas separadamente em papel alumínio e levadas à estufa em temperatura de 80°C. A cinética de secagem da polpa foi acompanhada, através da perda de massa em relação ao tempo, pesando-se o material em intervalos regulares de 15 min até massa constante, em balança analítica (Toledo, modelo 9094-1), com 0,005g de precisão. Cada amostra continha aproximadamente 5 g. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

### 2.3 Determinações analíticas

#### 2.3.1 Atividade de água

Foi realizada a determinação da atividade de água da casca e polpa *in natura* (descongelada) e desidratadas à 80ºC, utilizando o equipamento LabTouch – aw, NOVASINA) em que, por meio de um sistema de controle de temperatura integrado a um sensor infravermelho, fornece leituras precisas do valor da atividade de água das amostras.

2.3.2 Umidade

A análise do teor de umidade foi realizada utilizando o analisador de umidade infravermelho da marca Marte ID-200, a 105 °C, utilizando aproximadamente 3 g de amostras de casca e polpa *in natura* (descongelada) e desidratadas à 80 °C.

2.3.3 Parâmetros de cor

Para avaliar os parâmetros de cor da casca e polpa do guabiju, foi utilizado colorímetro Minolta (CR-400, Osaka, Japão) por meio do diagrama tridimensional de cores (L*a*b*), onde a coordenada L* representa a luminosidade da amostra variando de 0 (escuro) a 100 (claro), a* indica cromaticidade tendendo do verde (-80) ao vermelho (+100) e b* mostra a cromaticidade que varia do azul (-50) ao amarelo (+70). Para calcular a diferença de cor total (ΔE*) foi utilizada a Eq. (1):

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0,5} \quad (1)$$

**2.4 Determinação de compostos bioativos da casca e polpa**

Para determinar a atividade antioxidante, compostos fenólicos e flavonoides, foram obtidos extratos brutos da casca e polpa do guabiju *in natura* (descongelada) e submetidas a secagem em temperatura de 80°C.

A fim de obter o extrato, a preparação da amostra ocorreu da seguinte forma: a casca *in natura* (descongelada) foi triturada com auxílio de um Mixer (Britânia) e a casca desidratada utilizando gral com pistilo de porcelana, ao abrigo de luz. Com bastão de vidro a polpa *in natura* (descongelada) foi macerada e a polpa desidratada cortada em pedaços com auxílio de uma tesoura de aço inoxidável a fim de aumentar a área de contato.

A extração dos componentes bioativos foi realizada por meio de extrações sucessivas utilizando álcool etílico (99%). Desta forma, deixou-se a amostra em contato com 50 mL do solvente por 12 horas seguida de filtração. O filtrado foi guardado ao abrigo de luz, e a amostra retida no filtro foi submetida à nova extração conforme descrito anteriormente. Esse procedimento foi realizado 3 vezes e o filtrado (150 mL) foi passado para um balão fundo redondo de 250 mL, previamente coberto com papel alumínio. Posteriormente, os extratos foram rotaevaporados em evaporador rotativo a vácuo (Marconi MA 120) a 60 ºC. O produto concentrado foi liofilizado e armazenado a 4 °C até a sua utilização. Para obter a concentração de extrato desejada, os extratos foram ressuspendidos em álcool etílico, restando um resíduo no balão, o qual retornou para a estufa e posteriormente foi pesado para descontar da amostra inicial.

2.4.1 Determinação de compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos totais da casca e polpa *in natura* (descongelada) e desidratadas à 80ºC, foi realizado pelo método de Folin-Ciocalteau, o qual utiliza ácido gálico como padrão de referência, conforme descrito por Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventos (1999), com modificações. Em um tubo de ensaio foram adicionados 0,5 mL de amostra dos extratos etanólicos de casca e polpa de guabiju *in natura* (descongelada) e desidratadas em temperatura de 80ºC na concentração de 5 mg/mL, 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteau (diluído 1:10 v/v) e 2 mL de carbonato de sódio 4% (m/v). Os tubos foram agitados e armazenados por 2 horas em temperatura ambiente ao abrigo de luz. Logo após, realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro (Logen Scientific UV/VIS -LS7052) a 760 nm.

As análises foram realizadas em triplicata, onde o teor de compostos fenólicos foi obtido por análise de regressão linear a partir de uma curva padrão utilizando o ácido gálico em concentrações de 1 a 100 μg/mL. Os resultados foram expressos em miligramas equivalentes de ácido gálico por 100 gramas de extrato (mg EAG/100g).

2.4.2 Determinação de flavonoides

A determinação do teor de flavonoides da casca e polpa *in natura* (descongelada) e desidratadas à 80ºC, foi realizada pelo método descrito por Garrido, Ortiz e Pozo (2013), com adaptações, onde utilizou-se a quercetina como padrão de referência. Em um tubo de ensaio foi adicionado 0,5 mL de amostra dos extratos etanólicos de casca e polpa de guabiju *in natura* (descongelada) e desidratadas em 80ºC na concentração de 5 mg/mL, 4,3 mL de etanol 70% (v/v), 0,1 mL de nitrato de alumínio 10% (m/v) e 0,1 mL de acetato de potássio 10% (m/v). Os tubos foram agitados e armazenados em temperatura ambiente, ao abrigo de luz, por 40 minutos. Em seguida realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro (Logen Scientific UV/VIS -LS7052) a 415 nm.

As análises foram realizadas em triplicata, onde o teor de flavonoides foi obtido por análise de regressão linear a partir de uma curva padrão utilizando a quercetina em concentrações de 5 a 100 μg/mL. Os resultados foram expressos em miligramas equivalentes de quercetina por 100 gramas de extrato (mg EQ/100g).

2.4.3 Análise da atividade antioxidante

Após a obtenção do extrato etanólico da casca e polpa *in natura* (descongelada) e desidratadas à 80ºC conforme descrito no item 2.4, iniciou-se as análises de DPPH. Esta metodologia se baseia na medida da extinção da absorção do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH) em 515 nm (Vignoli et al., 2012; Casagrande et al., 2007) com modificações. A determinação da atividade antioxidante foi realizada em triplicata, por método espectrofotométrico. A técnica constituiu na incubação da amostra da polpa por 30 minutos, e da casca por 6 minutos, de 1000µL de uma solução etanólica de DPPH 0,1 mM com 1000µL de soluções contendo concentrações crescentes de extratos em etanol. A solução denominada "branco" foi preparada (sem amostra e sem DPPH) e a solução controle (mistura de etanol-DPPH). A determinação da absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV-Visível (Logen Scientific UV/VIS - LS7052) em comprimento de onda de 515 nm. A atividade de captura de radicais pelos extratos foi obtida pela Eq. (2).

$$AA(\%) = 100 - (Abs.amostra / Abs.controle) * 100 \quad (2)$$

Após a avaliação da faixa de concentração ideal, calculou-se a concentração de extrato necessário para capturar 50% do radical livre DPPH ($IC_{50}$) foi calculada por análise de regressão linear (Carbonari, 2005).

2.4.4 Extração e quantificação de antocianinas totais

A fim de realizar a extração do pigmento da casca, seguiu-se com algumas modificações, a metodologia de Medina et al. (2011), onde foram pesadas 5 gramas de casca *in natura* (descongelada) e submetidas à secagem em temperatura de 80°C e acondicionados em tubos de Falcon de 25 mL, os quais foram cobertos com papel alumínio. Em seguida, adicionou-se 15 mL do solvente a 4°C (contendo 0,1% de HCl P.A.). A extração ocorreu no escuro, sob refrigeração (Consul), durante 2 horas e à temperatura de 4 ± 1 °C. Decorrido o tempo, centrifugou-se as amostras (MPW-351R) a 8000 rpm por 15 minutos e sob refrigeração. O sobrenadante foi recolhido e realizou-se uma lavagem do precipitado com 5 mL de solvente, após procedeu-se de centrifugações nos mesmos parâmetros da primeira operação.

Logo após, o extrato foi submetido a filtração à vácuo em filtro de papel Whatmann n° 01 e funil de Buchner, sendo realizada a padronização do volume de cada amostra da casca para 20 mL. Posteriormente os extratos foram acondicionados em frascos cobertos com papel alumínio e encaminhados para a quantificação de antocianinas a partir de análise colorimétrica.

Para quantificar as antocianinas, utilizou-se como base o método descrito por Fetter et al., (2010), onde a foi realizada a leitura da absorbância a 535 nm, em espectrofotômetro (Logen Scientific UV/VIS -LS7052), usando o solvente como branco.

O cálculo do teor de AT foi realizado para todos os experimentos, e obtido conforme Eq. (3):

$$c = \frac{A}{\varepsilon \ell} \quad (3)$$

Onde:
ε é o coeficiente de absortividade molar da espécie;
A é a absorbância da amostra;
c é a concentração molar da espécie;
ℓ é o comprimento atravessado pelo feixe de radiação (caminho óptico)

**2.5 Análise estatística**

Os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados das análises foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA), seguido de comparação das médias pelo teste de t student, com o software *Statistica* versão 5.0, com nível de confiança de 95%.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de atividade de água e umidade da casca e polpa de guabiju *in natura* (descongelada) e desidratada em temperatura de 80 °C encontram-se na Tab. 1.

Tabela 1 - Valores obtidos de atividade de água e umidade das amostras de casca e polpa de guabiju *in natura* (descongelada) e desidratadas em temperatura de 80 °C.

| | **Casca** | | **Polpa** | |
|---|---|---|---|---|
| | ***In natura*** | **80°C** | ***In natura*** | **80°C** |
| **Atividade de água** | 0,97 | 0,37 | 0,97 | 0,38 |
| **Umidade (%)** | 70,7 | 1,80 | 71,1 | 1,60 |

Conforme observado na Tab. 1 ambas as amostras apresentaram baixos valores de atividade de água após a secagem, menores que 0,6, o que indica condições microbiológicas estáveis, assegurando maior segurança à conservação do produto (Bobbio, 2001; Hoffmann, 2001), assim como, a análise de umidade mostrou valores baixos após a secagem até peso constante.

Segundo Souza et al., (2016) valores de 0,30 de atividade de água encontrados na polpa de cajá liofilizada minimizam o desenvolvimento de micro-organismos e aumentam a estabilidade.

Na Tab. 2 estão demonstrados os parâmetros de cor da casca e polpa do guabiju dos experimentos de secagem em temperatura de 80 °C.

Tabela 2 – Valores obtidos do parâmetro cor Luminosidade (L), Cromaticidade (a* e b*) e ΔE da casca e polpa na secagem em temperatura de 80 ºC.

| | **Casca** | **Polpa** |
|---|---|---|
| Δ L* | -6,80 ± 0,18 | -1,00 ± 0,36 |
| Δ a* | 2,95 ± 0,06 | 2,83 ± 0,02 |
| Δ b* | -0,88 ± 0,13 | -3,39 ± 0,46 |
| Δ E | 7,46 ± 0,20 | 4,55 ± 0,40 |

Na avaliação de produtos, o parâmetro Luminosidade quando negativo, o resultado é o produto mais escuro. A cromaticidade a*, varia entre as cores verde (-) e vermelho (+), e a cromaticidade b* varia entre as cores azul (-) e amarelo (+). Com relação ao ΔL* observou-se a perda de brilho da casca, o valor de Δa* mostrou pequena tendência mais para vermelho em relação a casca *in natura*, e a polpa ficou menos amarela representado pelo valor de Δb* em comparação a polpa *in natura*.

O maior valor de ΔE* obtido foi para a casca (7,46), segundo relatado por Alves et al., (2008) quanto maior o valor de ΔE*, maior é a diferença total de cor do produto processado em relação ao produto original. De acordo com os valores apresentados de ΔE*, pode-se observar que a secagem em temperatura de 80° C teve menor variação na cor da polpa (4,55) em relação a casca (7,46).

Ao analisarem a cor de mirtilo, cereja e morango após a secagem em ar quente 70 °C, Nemzer et al., (2018) observaram que as amostras com tonalidade escura, como o mirtilo, mantiveram seu tom escuro durante a secagem, portanto, apresentaram menor ΔE* (2,89). Além disso, o mirtilo mostrou diminuição do L*, parecendo assim pouco mais escuros. Por outro lado, a cereja e o morango, apresentaram maiores valores de ΔE* 10,72 e 20,90 respectivamente.

Os valores obtidos na determinação do teor de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas da casca e polpa do guabiju *in natura* (descongelada) e desidratadas em temperatura de 80 °C estão apresentados na Tab. 3.

Tabela 3 - Valores obtidos para compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas da casca e polpa de guabiju *in natura* (descongelada) e desidratadas em temperatura de 80 °C.

| | **Casca** | | **Polpa** | |
|---|---|---|---|---|
| | ***In natura*** | **80°C** | ***In natura*** | **80°C** |
| **Compostos fenólicos** (mgEAG/100g extrato seco) | $8459,8^{a} \pm 35,0$ | $6793,1^{b} \pm 526,0$ | $5934,0^{a} \pm 202,0$ | $4573,2^{b} \pm 157,0$ |
| **Flavonoides** (mg EQ/100g extrato seco) | $4936,8^{a} \pm 132,0$ | $4410,5^{b} \pm 175,0$ | $3384,2^{a} \pm 45,0$ | $2884,2^{b} \pm 74,0$ |
| **Antocianinas** (mg/100g extrato seco) | $152,0^{a} \pm 6,2$ | $12,8^{b} \pm 1,8$ | nd | nd |

Letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa ($p<0,05$) pelo teste de t student.

nd = Não foi determinada a extração e quantificação de antocianinas da polpa de guabiju devido ausência de pigmentação.

Na Tab. 3 pode ser observado que o teor de compostos fenólicos e flavonoides da casca e polpa *in natura* apresentaram diferença significativa em relação à casca e polpa desidratadas. Quanto as antocianinas da casca, a amostra *in natura* (descongelada) apresentou diferença significativa em relação a amostra submetida à secagem em temperatura de 80°C, a qual houve degradação de 91,6%. Nora et al., (2014) também encontraram valores muito inferiores para amostras de guabiju submetidas à secagem, com uma degradação de 98,3% das antocianinas das amostras desidratadas a 70 °C. Não foi realizada a extração e quantificação de antocianinas da polpa do guabiju devido ausência desse pigmento, caracterizado pela coloração que varia do vermelho ao violeta/azul.

Ao pesquisar o teor de antocianinas totais na amora preta (polpa congelada) cultivar Tupy, os autores encontraram valores na faixa de 140,73 mg cianidina-3- glicosídio/100 g da fruta fresca (Jacques, 2009; Jacques, Zambiasi, 2011).

Quanto maior o teor de compostos fenólicos e flavonoides, menor o valor de $IC_{50}$, consequentemente maior atividade antioxidante.

De acordo com Andrade et al., (2011) os valores de flavonoides e polifenóis totais de diferentes genótipos de guabiju, variaram de 79,8 a 154 mg/100 g peso seco e 2438 a 4613 mg/100 g peso seco, respectivamente.

Na Tab. 4 estão descritos os valores de $IC_{50}$, com respectivo cálculo e $R^2$ da casca e polpa de guabiju *in natura* (descongelada) e desidratadas em temperatura de 80°C.

Tabela 4 – Valores obtidos para $IC_{50}$, com respectivo cálculo e $R^2$ da casca e polpa de guabiju *in natura* (descongelada) e desidratadas em temperatura de 80°C.

| | **Casca** | | **Polpa** | |
|---|---|---|---|---|
| | ***In natura*** | **80 °C** | ***In natura*** | **80 °C** |
| **IC 50 (%)** | 1,41 | 1,34 | 2,97 | 3,31 |
| **Equação** | y = 35,128x +0,2347 | y = 24,021x + 17, 096 | y =12,801x +11,976 | y = 10,237x +15,9 |
| **$R^2$** | 0,99 | 0,89 | 0,97 | 0,93 |

Segundo Roby (2013), $IC_{50}$ pode ser definido como os moles de compostos fenólicos dividido por moles de DPPH necessários para diminuir em 50% a absorbância de DPPH, então quanto mais baixa for a $IC_{50}$, maior é o poder antioxidante da amostra. Desta maneira, pode-se observar na Tab. 4, que os melhores valores de $IC_{50}$ obtidos na análise da atividade antioxidante foram para a casca em comparação com a polpa, sendo que a casca desidratada apresentou maior atividade antioxidante em relação a casca *in natura* (descongelada).

Goldmeyer et al., (2014) mostraram valores de $IC_{50}$ 3,83 mg/mL para o mirtilo desidratado. Desta maneira, foi possível observar que o guabiju apresentou melhor $IC_{50}$ em comparação com o mirtilo, podendo ser incluído na alimentação humana por apresentar propriedades antioxidantes.

## 4. CONCLUSÃO

Após a secagem verificaram-se valores de umidades de 1,80% para a casca e 1,60% na polpa, quanto à atividade de água, ambas as amostras obtiveram valor inferior a 0,6, indicando condições microbiológicas estáveis. Quanto ao parâmetro de cor, observou-se escurecimento tanto da casca, quanto da polpa, com menor variação de cor na secagem da polpa.

Em relação à atividade antioxidante o melhor resultado obtido foi para a secagem da casca a 80°C com $IC_{50}$ 1,34 mg/mL e polpa *in natura* (descongelada) com $IC_{50}$ 2,97 mg/mL. De forma geral, as frações de guabiju apresentaram boa quantidade de compostos bioativos, sendo que a secagem à 80 °C obteve teores de compostos fenólicos e flavonoides mais próximos ao *in natura* (descongelada), para casca 6793,13 mgEAG/100g e 4410,53 mgEQ/100g, e polpa com 4573,20 mgEAG/100g e 2884,21 mgEQ/100g, respectivamente. Para antocianinas o melhor resultado obtido foi o *in natura* (descongelada) com 152 mg/100g extrato fresco. Desta forma, com a secagem em temperatura de 80°C foi possível minimizar as perdas dos compostos fenólicos e flavonoides, assim como obteve melhor atividade antioxidante (casca), diferentemente das antocianinas, as quais ocorreram degradação com o processo de secagem.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à URI Erechim, CAPES, o CNPq e à FAPERGS pelo apoio financeiro e infraestrutura.

## 6. REFERÊNCIAS

Alves, C. C. de O.; Resende, J. V. de; Cruvinel, R. S. R.; Prado, M. E. T., 2008. "Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenoides de pós obtidos da polpa de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) liofilizada". *Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas*, Vol. 28, n.4, p. 830-839.

Andrade, J. M. M.; Aboy, A. L.; Apel, M. A.; Raseira, M. C. B.; Pereira, J. F. M.; Henriques, A. T., 2011. "Phenolic Composition in Different Genotypes of Guabiju Fruits (Myrcianthes pungens) and Their Potential as Antioxidant and Antichemotactic Agents". *Journal of Food Science*, Vol. 76, n. 8.

Banga, J.; Balsa-Canto, E.; Moles, C.; Alonso, A. 2003. "Improving food processing using modern optimization methods". *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 14. n. 4. p. 131-144.

Bobbio, P.A.; Bobbio, F.O., 2001. *Química do Processamento de Alimentos*. 3ª ed. São Paulo: Editora Varela. 143p.

Carbonari, K. A., 2005. *Avaliação do Potencial Antioxidante (In vitro e In vivo) e Anti-inflamatório de Ouratea parviflora, Polymnia sonchifolia e Marlierea obscura.* Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 108 f.

Carratu, E.; Sanzini, E., 2005. "Sostanze biologicamente attive presenti negli alimenti di origine vegetable". *Annali dell'Istituto superiore di sanità*, Vol. 41, n.1, p.7-16.

Casagrande, R. Georgetti S.R, Verri W.A J.R, Borin M. F, Lopez R.F, Fonseca M. J., 2007. "In vitro evaluation of quercetin cutaneous absorption from topical formulations and its functional stability by antioxidant activity". *International Journal of Pharmaceutics*, Amsterdam, Vol. 328, n.2, p. 183-190.

Dalla Nora, C.; Muller, C.D.; Bona, G.S. Rios, A.O.; Hertz, P.F.; Jablonski, A.; Jong, E.V.; Flôres, S.H. 2014., 2014. "Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (Psidium cattleyanum Sabine) and guabiju (Myrcianthes pungens)". *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol. 34, n. 1, p. 18-25.

Detoni, E. 2015. *Caracterização físico-química do Guabiju (Myrcianthes pungens) e métodos de conservação pós colheita*. Monografia de especialização. Francisco Beltrão.

Fetter, M. R., Vizzotto, M., Corbelini D. D., Gonzalez, T. N., 2010. "Propriedades funcionais de araçá-amarelo, araçá-vermelho (Psidium cattleyanum Sabine) e araçá-pera (P. acutangulum D.C.) cultivados em Pelotas/RS". *Brazilian Journal of Foof Technology*. n. 15.

Garrido, G.; Ortiz, M. e Pozo, P., 2013. "Fenoles y flavonoides totales y actividad antioxidante de extractos de hojas de Lampaya medicinalis F. Phil". *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, Vol. 1, n. 1, p. 30-38.

Goldmeyer, B.; Penna, N. G.; Melo, A.; Da Rosa, C. S., 2014. "Características Físico-Químicas E Propriedades Funcionais Tecnológicas Do Bagaço De Mirtilo Fermentado E Suas Farinhas". *Revista Brasileira de Fruticultura*, Vol. 36, n. 4, p. 980-987.

Hoffmann, F. L., 2001 "Higiene - Fatores limitantes à proliferação de microorganismos em alimentos". *Brasil Alimentos*, n. 9.

Horst, M.A.; Lajolo, F.M., 2007. "Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. Biodisponibilidade de nutrientes". São Paulo: Manole, Vol. 1. p. 697-731, 2ª edição.

Jacques, A. C., 2009. "*Estabilidade de compostos bioativos em polpa congelada de amora-preta (Rubus fruticosus) cv. tupy"*. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Rio Grande do Sul.

Jacques, A. C.; Zambiazi, R. C., 2011. "Fitoquímicos em amora-preta (Rubus spp)". *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, Vol. 32, n. 1, p. 245-260.

Jorge, A.; Kubaski, E. T.; Almeida, D. M.; Tebcherani, S. M. 2013. "A gestão de processos como alternativas para processos de secagem de tomate". In: *XXXIII Encontro Nacional de engenharia de produção: a gestão dos processos de produção e as parcerias globais para o desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos*. Salvador, BA, Brasil, 8-11 out.

Manach, C. et al., 2004. "Polyphenols: food sources and bioavailability". *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 79, n. 5, p. 727-747.

Marcinkowski, E. De A. 2006. *Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja*. Dissertação de Mestrado- Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Química, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre.

Medina, A. L.; Haas, L. I. R.; Chaves, F. C.; Salvador, M.; Zambiazi, R. C.; Da Silva, W. P.; Nora, L.; Rombaldi, C. V., 2011. "Araçá (Psidium cattleianum Sabine) fruit extracts with antioxidant and antimicrobial activities and antiproliferative effect on human cancer cells". *Food Chemistry*, Vol. 128, n. 4, p. 916–922.

Meloni, P. L. S., 2003. *Desidratação de frutas e hortaliças***.** 87 f. Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – Frutal. Fortaleza / Ceará, 2003. Disponível em:< http://www.eteavare.com.br/arquivos/20_1959.pdf> Acesso em: 05 de maio de 2018.

Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., & Feng, H., 2018. "Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods". ***Food Chemistry***, Vol. 262, p. 242–250.

Reis, L.C.R.; Bernardi, J.R.; Silva, A.C.P.; Facco, E.M.P., 2016. "Análise da composição nutricional e estabilidade de compostos fenólicos e antocianinas totais do guabijú (Myrcianthes punges)". *Brazilian Journal of Food Research*, Campo Mourão, Vol. 7, n. 1, p. 89-104.

Roby M. H. H., Sarhan, M. A. , Selim K. A., Khalel, K. I., 2013. "Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts". *Industrial Crops and Products*, Vol. 43, n. 1. p. 827– 831.

Rodrigues, M. C. K. 2018. *Estudo da secagem e avaliação das propriedades físico-químicas e antioxidants da casca da banana verde (*Musa spp*)*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Erechim.

Seleem, D.; Pardi, V.; Murata, R.M., 2016. "Review of flavonoids: A diverse group of natural compounds with anti-Candida albicans activity in vitro'. *Arquives of Oral Biology*, Vol. 76. p. 76-83.

Silva, M.L.C.; Costa, R.S.; dos Santos Santana, A.; Koblitz, M.G.B., 2010. "Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais". *Semina: Ciências Agrárias*, Vol. 31, n. 3, p. 669-682.

Singleton, V. L.; Orthofer, R. e Lamuela-Raventos, R. M., 1999. "Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin- Ciocalteau reagent". *Methods of Enzymology*, Vol. 299, p. 152-178.

Souza, L. S., 2010. *Caracterização de frutos e propagação vegetativa de guabijuzeiro Myrcianthes pungens (o.Berg) d.Legrand.* Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em Fitotecnia com ênfase em Horticultura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 112 f. Disponível em:< https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/27004> Acesso em: 04 de maio 2018.

Sousa, F. C; Silva, L. M. M; Castro, D. S.; Moreira, I. dos S; Rocha, A. P.T., 2016. "Caracterização do cajá in natura, formulado e liofilizado". *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'*.

Vignoli, J. A.; Bassoli, D. G.; Benassi, M. DE T., 2012. "Atividade antioxidante de cafés torrado e solúvel: padronização e validação de métodos". *Coffee Science*, Vol. 7, n. 1, p. 68-75.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA PRODUÇÃO DE BROTOS DE SOJA

**Keli Cristina Cantelli**
**Clarice Steffens**
**Jamile Zeni**
**Claudio Augusto Zakrzevski**
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Erechim , Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim RS
E-mail: keli.cantelli@hotmail.com, clarices@uricer.edu.br , jamilezeni@uricer.edu.br , caz@uricer.edu.br

**José Luiz Kiedis**
Engenharia Química, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim RS
E-mail: jose_kiedis@outlook.com

**Mercedes Concórdia Carrão Panizzi**
Dra. em Ciência de Alimentos, Pesquisadora da Área de Genética e Melhoramento - Embrapa Trigo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Passo Fundo, RS.
E-mail: mercedes.panizzi@embrapa.br

**Resumo:** O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um equipamento para produção de brotos de soja. O equipamento é constituído por um reservatório de água, uma bomba centrífuga, comandada por um temporizador e cinco câmaras de germinação dotadas de microaspersores. Dentro de cada câmara, foi acoplado uma peneira de aço inox onde são acomodados os grãos de soja a serem germinados. Para a produção de brotos via o equipamento desenvolvido foram avaliados os seguintes parâmetros: Quantidade de grãos, tempo de maceração, frequência de irrigação, volume de água aspergida e tempo de germinação visando obtenção de brotos com comprimento médio de 10cm, maior rendimento e melhor aspecto visual. Após a colheita determinou-se peso e comprimento dos brotos. As melhores condições para produção de brotos foram: 80 g de soja em cada recipiente de germinação, o tempo de maceração foi de 6 h, o volume de água aspergida foi de 20 ml. Desta forma foi possível montar um equipamento de baixo custo para produção de brotos com bom desenvolvimento

**Palavras chave: Brotos de Soja, Germinação, Equipamento de Produção.**

## 1. INTRODUÇÃO

A busca da qualidade alimentar está se tornando uma das principais preocupações dos consumidores conscientes, sendo assim a procura por alimentos cultivados em sistemas livres de agrotóxicos e aditivos químicos vem aumentando nos últimos anos. Isso vem ocorrendo, pois, as pessoas estão mais preocupadas com a saúde e o meio ambiente. Neste contexto, os brotos são alimentos altamente nutritivos, que não utilizam em seu processo produtivo nenhum tipo de adubo ou defensivo, apenas os grãos de soja e água (OLIVEIRA et al., 2013).

Os grãos de soja utilizados para produção de brotos devem ser de qualidade e específicos para produção de brotos (devem apresentam um tamanho menor), ter alta pureza física e não estarem contaminados com grãos de outras espécies. Para garantir alta rendimento e qualidade dos brotos são necessários grãos com alto vigor de germinação (EMBRAPA, 2005; EMBRAPA, 2015).

A produção de brotos de soja apresenta as seguintes vantagens: ocupam pouco espaço na hora da germinação, em pouco tempo de germinação (5 a 6 dias) colhem-se brotos com tamanho adequado ao consumo, não necessita de luz solar, solo, fertilizantes ou agrotóxicos, o rendimento é vantajoso, melhora o sabor adstringente presente na soja, aplica-se mão de obra simplificada quando implementado um sistema para produção e não requer região específica para produzir os brotos VIEIRA; LOPES (2001); LIMA (2009).

De acordo com Oliveira et al. (2013) os brotos de soja são alimentos nutritivos e saudáveis. Apreciados pelo seu paladar e valor nutritivo, ótima fonte de proteínas, vitaminas e minerais. São produtos totalmente naturais, pois

durante a produção não são aplicados nenhum tipo de adubo ou defensivos, apenas utilizam as reservas armazenadas nas sementes para germinarem e atingem o tamanho necessário para serem consumidos.

Segundo Oliveira; Carrão-Panizzi (2016) a implementação de um sistema para produção de brotos de soja apresenta baixo custo (aproximadamente R$ 3.000,00) e é de fácil construção. Sendo assim um sistema para cultivo de brotos de soja comestíveis é uma ótima alternativa para quem deseja abrir uma agroindústria, sendo que, demanda pouco consumo de água e energia elétrica, dispensa o uso intensivo da força braçal. Outras vantagens que fazem essa atividade rentável são: baixo investimento inicial e equipamentos simples e baratos. Sem contar que o período para produção também é de curta duração, sendo assim, o retorno financeiro é rápido. Neste contexto objetivo deste trabalho foi construir e avaliar um equipamento para produção de brotos de soja.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Soja

Os grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) BRS 216 utilizados neste estudo foram cedidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Embrapa Trigo) Passo Fundo, da safra 2017/2018.

### 2.2 Construção de um equipamento para produção de brotos

O equipamento de produção de brotos de soja (Fig. 1) foi construído baseado no sistema desenvolvido por Oliveira; Carrão-Panizzi (2016) com algumas modificações, sendo assim, o equipamento é constituído por um reservatório de água (volume total: 50 L, volume de água para a operação: 25 L), uma bomba centrífuga (Schneider® - modelo BC98, com pressão máxima 1,86 bar e vazão máxima de 5,5 $m^3$/h ) comandada por um temporizador (Exatron® - modelo TMS0BC, com intervalo de temporização de 1s) e cinco câmaras de germinação (recepientes plásticos com tampa com capacidade de 50 L) dotadas de microaspersores rotativos (Naandanjain@, modelo Green spin, com pressão máxima de 2 bar), sendo um aspersor por câmara.

A reposição de água no reservatório é realizada manualmente através de uma abertura na parte superior da mesma. Na parte inferior do reservatório há uma tomada de água que alimenta a bomba centrífuga (Schneider® -modelo BC98), a qual envia a água pressurizada por uma mangueira até os microaspersores rotativos (Naandanjain@, modelo Green spin, com pressão máxima de 2 bar).

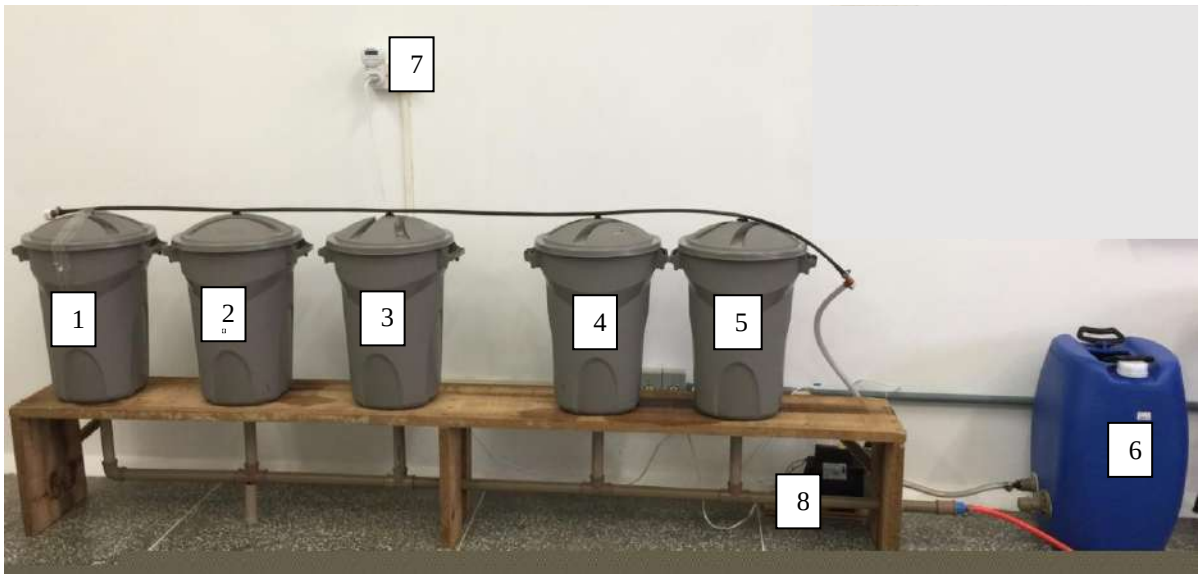



Figura 1 - Ilustração do equipamento para produção de brotos (1, 2, 3, 4 e 5 são as câmaras de germinação; 6 o reservatório de água com capacidade de 50 L; 7 o temporizador programável e 8 a bomba centrífuga).

Os microaspersores rotativos (Naandanjain@, modelo Green spin, com pressão máxima de 2 bar), foram instalados na parte superior interna da câmara (tampa) (Fig. 2a). Para o ajuste do intervalo de aspersão, um temporizador (Exatron® - modelo TMS0BC) foi utilizado para realizar o acionamento da bomba centrífuga (Schneider® -modelo BC98, com pressão máxima 1,86 bar e vazão máxima de 5,5 $m^3$/h).

Dentro de cada câmara, foi acoplado uma peneira de aço inox Brinox® (18 mesh) (Fig. 2b), de dimensões de 20 cm de diâmetro, 7 cm de borda e 18 mesh, onde são acomodados os grãos de soja a serem germinados, assim servindo de suporte para a germinação e escoamento do excesso de água que passa pelos grãos. A água aspergida sobre os grãos de soja, passa pelas peneiras e escoa para o fundo das câmaras, saindo do equipamento de germinação através de um ralo existente na parte inferior de cada unidade. Para que a saída da água das câmaras ocorresse por gravidade, as câmaras foram montadas sobre uma bancada com elevação de 38 cm.



(a) (b)

Figura 2 - Vista interna da Câmara de germinação, câmara de produção com microaspersor de água na tampa (a) e peneira de aço inox Brinox® (18 mesh) (b).

**2.3 Avaliação de parâmetros para produção dos brotos de soja**

Para a produção de brotos via o equipamento desenvolvido foram avaliados os seguintes parâmetros: Quantidade de grãos, tempo de maceração, frequência de irrigação, volume de água aspergida e tempo de germinação visando obtenção de brotos com comprimento médio de 10cm, maior rendimento e melhor aspecto visual.

Para tanto, os grãos de soja foram selecionados visualmente retirando-se sementes com fungos, paus, pedras, sementes murchas, sementes trincadas, enfim tudo o que pudesse atrapalhar a germinação.

Outro fator importante para produção de brotos, é a qualidade de água utilizada, sendo assim realizou-se as análises microbiológicas da água potável (bactérias heterotróficas, coliformes totais, coliformes termotolerantes) que foi utilizada no processo.

**2.3.1 Avaliação da quantidade de grãos**

Para verificar a quantidade necessária de grãos a serem colocados para germinar nas câmaras de germinação procedeu-se da seguinte maneira. Colocou-se 60, 80 e 100 g de grãos de soja da BRS 216 e observou-se qual quantidade germinou melhor, produzindo brotos com aspecto visual bem atrativo e com bom rendimento. A partir desta definição, avaliou-se o tempo de maceração.

**2.3.2 Avaliação do tempo de maceração**

Para avaliar o melhor tempo de maceração, 80 g de soja foram imersos em 400 mL de solução de hipoclorito de sódio (Butterfly@) a 10% em béquer de 500 mL, por 4 min para sanitização dos grãos. Em seguida os grãos foram imersos em 400 mL de água potável por 4, 6 e 8h de maceração. Em seguida, os grãos foram drenados e inseridos no equipamento de produção de brotos construído para avaliação da produção.

**2.3.3 Avaliação da frequência de irrigação e volume de água aspergida**

Para a avaliação da frequência de irrigação e do volume de água aspergido procedeu-se da seguinte maneira, 80 g de soja foram maceradas por 6 h em seguida foram drenados e inseridos no equipamento de produção de brotos construído e então foram irrigados com frequência de 4-4 h e 8-8h com aspersão de 20 e 25 mL de água, respectivamente, durante 120h de germinação.

### 2.3.4 Avaliação do tempo de germinação

Para determinação do tempo de germinação, avaliou-se a produção no tempo de 96h. Para tanto, 80 g de soja foram maceradas por 6 horas em seguida foram drenados e inseridos no equipamento de produção de brotos construído, irrigados a cada 12h, o volume de água aspergida foi de 20 mL o que equivale a 4 segundos de aspersão no equipamento desenvolvido.

### 2.4 Caracterização física dos brotos

### 2.4.1 Peso e Comprimento

Determinou-se o comprimento e o peso dos brotos viáveis após a colheita dos mesmos. O comprimento dos brotos foi medido com auxílio de paquímetro (Starrett$^{@}$ modelo Universal Série 125) e o valor expresso em centímetros. Mediu-se 50 brotos, em triplicata. O peso dos brotos viáveis de cada bandeja contendo 80 g de grão, foi determinado em balança semi-analítica e os dados expressos em gramas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Parâmetros para produção dos brotos de soja

As condições para produção de brotos de soja, como a quantidade de grãos, tempo de maceração, frequência de irrigação, volume de água aspergida e tempo de germinação foram definidas após testes preliminares. Para que todos os grãos germinem e não ocorra apodrecimento é importante que a quantidade de grãos disposta nos recipientes, fiquem espalhados e não se sobreponham, neste sentido foi observado que ao utilizar 80 g de grãos de soja em cada recipiente de germinação os grãos não ficaram sobrepostos, como pode ser observado na Fig. 3b. Ao utilizar-se 60g (Fig. 3a) verificou-se espaços vazios, e com 100g (Fig. 3c) a sobreposição dos grãos, afetando dessa maneira a eficiência da produção.



(a) (b) (c)

Figura 3 - Distribuição dos grãos no recipiente de germinação com 60 (a), 80(b) e 100(c) g**.**

Segundo Castro; Hilhorst (2004) durante a maceração dos grãos a embebição máxima de água é vantajosa, porém, água demasiada pode quebrar a casca e afetar a capacidade de germinação e em períodos muito curtos que não permite a completa reestruturação do sistema de membranas celulares, podem provocar a lixiviação de conteúdos celulares, causando prejuízos ao desempenho dos grãos. Observou-se que o tempo de maceração de 6 h foi o que apresentou melhores resultados para os grãos, pois observou-se que em tempo maior (8 h) ocasionou a quebra da casca reduzindo a capacidade de germinação e em 4 h de embebição a quantidade de grãos que germinaram foi menor (para cada 100 grãos por 4 h e 6 h embebidos, 79 e 91grãos germinaram, respectivamente), sendo assim o tempo de 6 h de maceração apresentou melhores resultados para germinação de grãos de soja.

Quanto aos parâmetros, frequência de irrigação (4-4 e 8-8) e a quantidade de água (20 e 25 mL) aspergida nos grãos (Figura 4), observou-se que os tempos de 4 e 8 h não foram eficazes, pois apresentaram apodrecimento de alguns grãos. Assim, a frequência de irrigação dos grãos de 12 h apresentou brotos bem desenvolvidos atingindo o tamanho desejado de aproximadamente 10 cm. E que os volumes de água de 25 e 30 mL, foram em excesso, pois acarretaram apodrecimento de parte dos grãos. Em testes, definiu-se que a frequência de irrigação e o volume de água ideais foram

de 12-12h e de 20 mL. O excesso de umidade, é desfavorável para germinação, uma vez que tende a limitar o suprimento de oxigênio e leva à decomposição por fungos (LIU, 2008).

| **Frequência de irrigação** | **Volume de água de irrigação** | |
|---|---|---|
| | **20mL** | **25mL** |
| **4 em 4 h** |  |  |
| **8 em 8 h** |  |  |

Figura 4 - Produção de brotos com variação de volume de água (20 e 25 mL) na irrigação e diferentes frequências (4-4 e 8-8h) de irrigação.

Em relação ao tempo de germinação e crescimento dos brotos verificou-se que com 96 h os brotos atingiram em média 7,35 cm de comprimento.

De acordo com os resultados obtidos as condições para a produção de brotos foram fixadas em 80 g de soja em cada recipiente de germinação (Fig. 5a) e 6 h de maceração, irrigação de 8 em 8 h com 20 mL de água.

## 4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do equipamento para produção de brotos com irrigação automatizada apresentou resultados viáveis, sendo possível produzir brotos de boa qualidade sem necessitar muita mão de obra.

Após testes preliminares para produção de produtos definiu-se as melhores condições para produção de brotos de soja da cultivar BRS 216: 80 g de soja em cada recipiente de germinação, o tempo de maceração foi de 6 h, a irrigação foi de 12 em 12 h, o volume de água aspergida foi de 20 ml. Com essas condições os brotos se desenvolveram muito bem e atingiram o tamanho desejado de aproximadamente 10 cm. Para cada 80 g de soja foram colhidos 151,32 g de broto. A média de comprimento dos brotos da BRS 216 foi 8,75 cm, com 120 h de germinação.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPQ, FAPERGS, FINEP, EMBRAPA e a URI pelo apoio financeiro ao presente trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

Castro, R.D.; Hilhorst, H.W.M., 2004. ”Embebição e reativação do metabolismo.” In: Ferreira, A.G.; BorghettI, F. (Ed.). Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2005. “Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: Hortaliças minimamente processadas/ Embrapa hortaliças, serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas”. *Brasília: Embrapa Informação Tecnológica*.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Soja, 2015. “Soja: Diferentes usos grãos”, Londrina, Paraná. Disponível em: < http://www.cnpso.embrapa.br> .

Lima Machado, A. L.; Barcelos, M. D. F. P.; Teixeira, A. H. R.; Alves Nogueira, D, 2009. “Avaliação de componentes químicos em brotos de fabaceae para o consumo humano*”. Ciência e agrotecnologia*.

Liu, K., 2008. “Food use of whole soybeans”. In: LAWRENCE, A. J.; WHITE, P. J.; GALLOWAY, R. Soybeans Chemistry, Production, Processing, and Utilization. Urbana: AOCS Press.

Oliveira, M. A.; Carrão-Panizzi, M. C.; Mandarino, J. M. G.; Leite, R. S, 2013. “Produção de brotos de soja utilizando a cultivar BRS 216: Caracterização físico-química e teste de aceitabilidade”. *Revista Food Technology***,** Campinas.

Oliveira, M. A.; Carrão-Panizzi, M. C, 2016. “Tecnologia para produção de brotos de soja”. *Comunicado técnico.*

Vieira, R. F.; Lopes, J. D. S., 2001. “Produção de brotos comestíveis: Feijão Moyashi, Alfafa, Trevo, Rabanete e Brócolis”. Viçosa, CPT.

## 7 NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores é são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE NANOBIOSSENSOR ENZIMÁTICO PARA DETECÇÃO DE NÍQUEL EM ÁGUA

**Sandra Cristina Ballen**
**José Luis Kiedis**
**Aline Andressa Rigo**
**Juliana Steffens**
**Clarice Steffens**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim RS.
Emails: sandra-ballen@live.com, jose_kiedis@outlook.com, julisteffens@uricer.com.br, clarices@uricer.com.br

**Lucelia Haehne**
Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Rua Avelino Talini, Lajeado RS.
Email: luceliah@univates.br

***Resumo:*** *A contaminação da água por metais tornou-se um problema de importância global com preocupação crescente devido a implicações na saúde humana. O amplo uso de níquel como matéria prima nas indústrias metalúrgicas e de galvanoplastia, como catalisador na indústria química e de alimentos e como componente de baterias elétricas, tornou-o um dos responsáveis pela contaminação da água. Os métodos analíticos tradicionais para detecção de metais possuem várias limitações, em vista disso surgiram os nanobiossensores como uma proposta promissora no campo de monitoramento ambiental. Desta forma este trabalho tem por objetivo a detecção de níquel em água utilizando nanobiossensores de cantilever funcionalizados pela técnica de monocamadas auto-organizada (SAM) com enzima comercial urease. A resposta dos nanobiossensores foi obtida utilizando um microscópio de força atômica injetando-se soluções de 100 e 200 µg/L de Ni e as comparando com água ultrapura. Ao decorrer do tempo de monitoramento, houve diferenças na voltagem (V) do nanobiossensor em relação as soluções de Ni e a água ultrapura. Podendo-se observar diferenças entre as soluções de 100 e 200 µg/L, revelando que o mesmo consegue detectar a presença de metais no meio. Sendo assim, a metodologia desenvolvida é viável e promissora na detecção de metais em água.*

***Palavras chave:*** *Cantilever, Nanobiossensor, Urease, Níquel.*

## 1. INTRODUÇÃO

A contaminação da água por metais pesados tornou-se um problema de importância global com preocupação crescente devido a implicações na saúde humana. A qual pode surgir a partir de fontes naturais, bem como fontes antropogênicas. As fontes naturais são infiltração de água nas rochas, atividade vulcânica, incêndios florestais, etc. O desenvolvimento industrial levou ao aumento das fontes de contaminações devido a geração de enormes quantidades de resíduos contendo metais pesados (Gu *et al*., 2018, Verma e Dwivedi, 2013).

O níquel é amplamente utilizado como matéria-prima nas indústrias metalúrgicas e de galvanoplastia, também é utilizado como catalisador na indústria química e de alimentos e como componente de baterias elétricas. As concentrações de Ni podem atingir até 0,2 mg/L em águas superficiais, o que é 20 a 30 vezes maior que as áreas não poluídas (Shahzad *et al*., 2018). Portanto, a contaminação da água por Ni tornou-se um problema sério em todo o mundo.

No Brasil existem várias legislações relacionadas a qualidade de água como a Portaria 2914 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, a Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Essas legislações apresentam os seguintes limites de níquel em água: 0,07 e 0,025 mg/L, respectivamente (Brasil, 2005, 2011).

Várias técnicas foram surgindo ao longo do tempo para detecção dos metais pesados. As técnicas multielementares como espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES), que apresenta capacidade multielementar e determina com boa sensitividade elementos refratários, e a espectrometria de massa com plasma

acoplado indutivamente ou ICP-MS, que é uma técnica para a determinação de elementos em nível de traços e para análises isotópicas, porém um dos aspectos críticos para esta técnica é a ocorrência de severos processos de interferências matriciais, que exige criteriosa seleção de condições de calibração (Cornelis *et al*., 2003; Cadore *et al*., 2008).

Ainda é possível detectar metais através das técnicas monoelementares como a espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), que é uma técnica de fácil operação e com um custo relativamente reduzido, onde a célula de atomização é a chama, porém possui uma baixa sensitividade, principalmente para os elementos mais refratários, tratando-se de uma técnica ideal para análise elementar em níveis de mg/L (Harris, 2005). A espectrometria de absorção atômica com forno de grafite ou GF AAS, difere da FAAS principalmente em relação ao sistema de introdução de amostras e à célula de atomização que, ao invés de uma chama, consiste em um tubo de grafite. A GF AAS apresenta limites de detecção da ordem de μg/L e, além da sensitividade, apresenta vantagens em relação à FAAS pelo reduzido volume de amostra requerido e também pelo baixo consumo de gases (argônio) (Settle, 1997).

No entanto, esses métodos analíticos são frequentemente restritos pela preparação complicada de amostras, instrumentos sofisticados e alto custo (Hao e Yan, 2015). Para superar tais limitações e melhorar os limites de detecção os nanobiossensores podem ser empregados trazendo uma análise quantitativa rápida e com melhor sensitividade.

Neste sentido a área de nanotecnologia tem apresentado grandes avanços, com o desenvolvimento de nanobiossensores, os quais são baseados em hastes ultra-sensíveis, chamadas cantileveres, que se originam da microscopia de força atômica (AFM - do inglês *Atomic Force Microscope*) com uma molécula biológica imobilizada em sua superfície. Os mesmos estão apresentando resultados promissores na detecção de substâncias químicas, físicas, toxinas, poluentes e analitos em geral na micro e nanoescala, além de fornecerem recursos sensíveis para medir e mapear a informação química da superfície e quantificar as forças repulsivas e atrativas associadas a materiais inorgânicos e amostras biológicas, por meio de interações químicas entre o cantilever e a amostra (Leite e Herrmann, 2005, Martinazzo *et al*., 2018, Muenchen *et al*., 2018, Steffens *et al*., 2012).

Uma ampla gama de elementos de reconhecimento biomolecular tem sido usados para nanobiossensores com potenciais aplicações ambientais. Nanobiossensores enzimáticos possuem alta sensibilidade, estabilidade, durabilidade e eficiente operação. Um passo importante e crítico no desenvolvimento deste tipo de nanobiossensor é a imobilização da enzima na superfície do sensor (Saini *et al*., 2017).

Uma etapa de grande importância na fabricação de nanobiossensores é a funcionalização, ou seja, serem recobertos por uma camada sensitiva, a qual deve ser específica e capaz de reconhecer as moléculas de interesse. A adsorção dessas moléculas na superfície funcionalizada do cantilever causa uma tensão superficial, resultando na curvatura do cantilever (deflexão) (Sharma *et al.*, 2010). Para imobilizar enzimas nas superfícies de cantileveres utiliza-se geralmente as monocamadas auto-organizadas ou SAM (do inglês Self-Assembled Monolayers), a qual consiste na formação de camadas moleculares a partir da exposição de uma superfície a moléculas com grupos funcionais que possuem forte afinidade por um determinado substrato usado como suporte (Mandler e Kraus-OPhir, 2011).

Neste contexto a urease se destaca na utilização em nanobiossensores por ser inibida na presença de metais pesados. O mecanismo de inibição da enzima baseia-se nas interações entre os íons de metais pesados os grupos tiol/ metiltiol da cisteína/metionina apresentados no centro ativo da enzima (Ogończyk *et al*., 2005). Na prática, essa inibição é importante pois pode ser explorada para a construção de sistemas de detecção baseados na sua inibição para determinação *in situ* e em tempo real dos níveis de traços destes íons, por exemplo, no monitoramento de água (Krajewska, 2009).

Desta forma o presente trabalho tem como objetivo a detecção de níquel em água utilizando nanobiossensores de cantilever funcionalizados pela técnica de SAM com enzima urease.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Desenvolvimento do nanobiossensor de cantilever

Os cantileveres (ContGD-G) usados para o desenvolvimento dos nanossensores foram adquiridos comercialmente (BudgetSensors), com as seguintes especificações do fabricante: material de silício revestido com 70 nm de ouro em um lado da superfície, frequência de ressonância de 13,0 (±4) kHz e constante de mola de 0,2 (0,07-0,4) N/m.

O procedimento de funcionalização do cantilever foi baseado no trabalho de Velanki e Ji (2006) e Martinazzo *et al*., (2018).

Etapa 1- Primeiramente foi realizada a limpeza dos cantileveres, os quais foram transferidos individualmente para uma placa de petri, onde foram imersos em álcool isopropílico (Vetec, 99,5 %), por 2 min, para remoção de interferentes da superfície, e então secos, a temperatura de 20 °C, por cerca de 15 min.

Etapa 2 - Após foram imersos em uma solução de ácido16-mercaptohexadecanóico (AMHD) (Sigma Aldrich, 90 %) 2 mM em meio etanólico (Neon, 99,8%), por overnight (16 h). Após, foi realizada a lavagem do cantilever com água ultrapura (Millipore Co. 18,2 MΩ/cm) (2 min) e secagem a 20°C por 15 min.

Etapa 3 - Posteriormente foram imersos em uma mistura de N-(3-dimetilaminopropil)-N'-etilcarbodiimida (EDC) (Sigma Aldrich, 98 %) 1 mM e N-hidroxisuccinimida (NHS) (Sigma Aldrich, 98%) 1 mM 4:1 (v/v) durante 10 min. A seguir, foi realizada a lavagem com água ultrapura (2 min) e secagem a 20 °C por 15 min.
Etapa 4- Por fim os cantilevers foram imersos em enzima comercial urease de *Canavalia ensiformis* (75,26 U/mg) (Sigma Aldrich) diluída em tampão fosfato de sódio 0,2 M pH 7,0 na concentração de 10 mg/mL durante 10 min, e então foi realizada a lavagem do cantilever com solução tampão fosfato de sódio 0,2 M pH 7,0 (2 min) e secagem a 20°C por 15 min.

Os procedimentos de funcionalização foram realizados em uma sala climatizada a 20°C. Posteriormente, os nanobiossensores foram armazenados sob refrigeração (4ºC), a seco, dentro de placas de petri. Sendo que antes da realização de experimentos, os mesmos permaneciam a 25ºC por 30 min, para estabilizar sua temperatura.

### 2.2 Medida de voltagem dos nanobiossensores de cantilever

Para avaliar a resposta dos nanobiossensores, obtido por meio da funcionalização dos cantileveres com a enzima comercial urease para detecção de níquel em água, utilizou-se uma solução de Níquel (Ni) (Alamar Tecno Científica, 97 %) de 200 µg/L em água ultrapura.

O método de operação no AFM Nanosurf (C3000 Controller) foi realizado em meio líquido, modo estático, por meio da realização de uma imagem. As imagens foram realizadas em modo contato, utilizando o método de feixe óptico, o qual o feixe de laser é focado na extremidade final do cantilever e refletido para um fotodiodo de quatro quadrantes que monitora a voltagem, onde o alcance do fotodetector é de 0 a 12 Volts, sendo que a distância percorrida pela haste é proporcional ao sinal de voltagem do AFM.

O nanossensor de cantilever, previamente funcionalizado e acoplado a um suporte denominado de canticlip, foi inserido junto ao cabeçote (scanner) do equipamento, onde o laser foi posicionado na extremidade final da haste do cantilever e na posição central do fotodetector, verificando sua intensidade, que ficou em torno de 70%, sendo ambos calibrados apenas na primeira medida (água ultrapura). Então, a resposta era monitorada por meio da criação de uma imagem, realizada nos seguintes parâmetros: área de 0 $\mu m^2$ (o cantilever não realizava uma varredura nos eixos x e y dentro da gota de líquido), resolução de 900x900 pontos (a imagem era formada por 900 linhas, representando os pontos de resposta) e velocidade de varredura de 1 s/linha para obtenção da resposta. Nestes parâmetros, a duração de cada análise era de 30 min.

Para a realizar a análise injetou-se ± 0,5 mL de água ultrapura (branco), com o auxílio de uma pipeta de pasteur, sobre uma placa de aço inoxidável no AFM, de modo que o nanobiossensor de cantilever ficasse totalmente imerso na gota de líquido para posterior leitura direta das medidas de voltagem. Também se realizou este procedimento para a soluções de 100 e 200 µg/L de Ni em água ultrapura. Estas foram injetadas para leitura no AFM em ordem crescente de concentração.

A Figura 1 mostra as partes que compõem o AFM e o sistema de resfriamento, utilizadas neste trabalho.

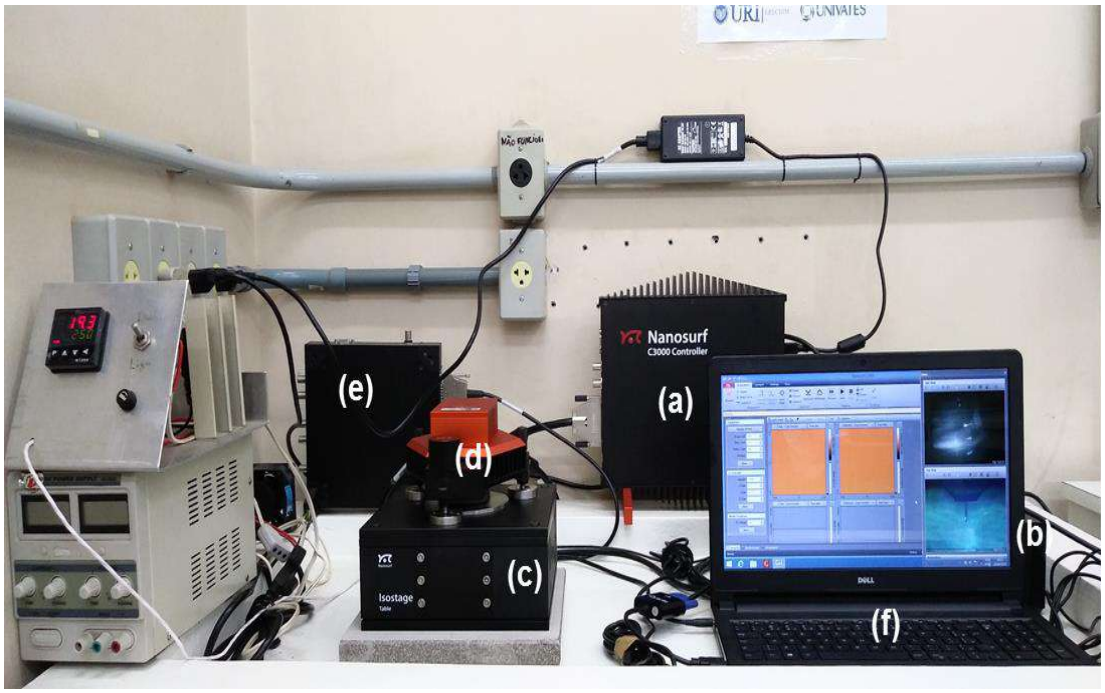



Figura 1. Microscópio de força atômica (AFM): (a) Controlador C3000, (b) Controlador da mesa anti-vibratória, (c) Mesa anti-vibratória, (d) Cabeçote, (e) Controlador Easyscan e (f) Notebook.

As imagens obtidas foram convertidas em um gráfico de voltagem (V) versus tempo de contato (min), por meio do software Gwyddion (Versão 2.53). Todos os dados foram tomados em triplicata.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as respostas de detecção de diferentes concentrações de Ni e água ultrapura (branco) para o nanobiossensor de cantilever funcionalizado com enzima urease em função do tempo.

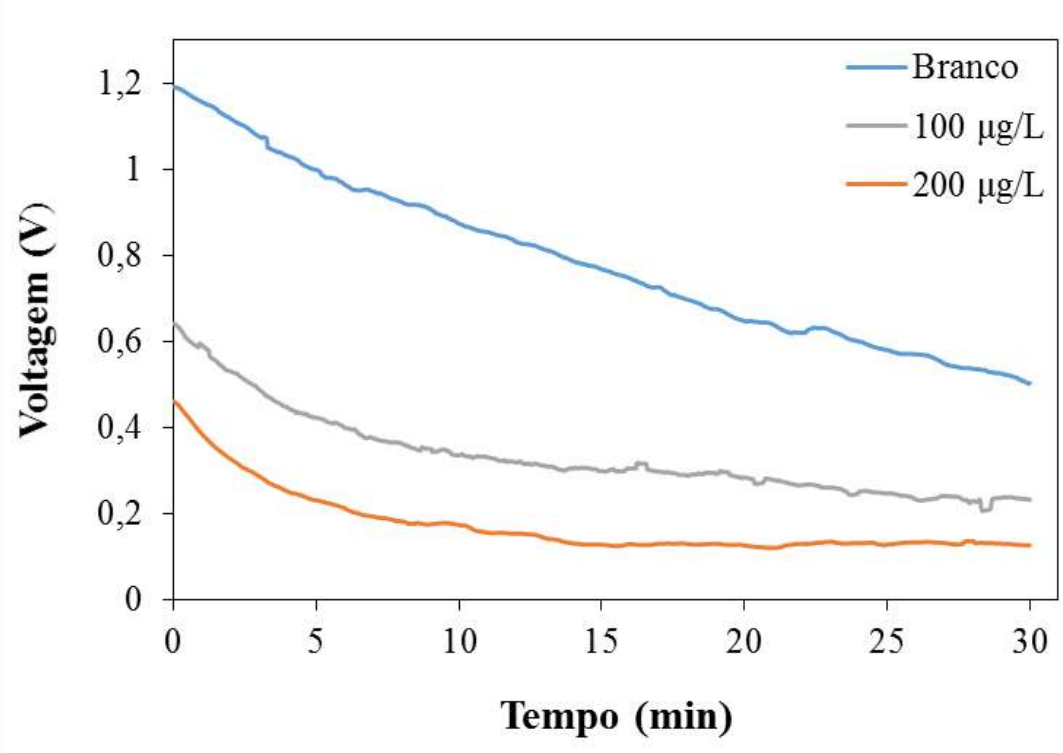



Figura 2. Resposta de detecção do nanobiossensor funcionalizado com a enzima urease em função do tempo com a injeção de diferentes soluções de Ni e água ultrapura.

As medidas de voltagem do nanobiossensor funcionalizado com a enzima urease podem ser observadas na Figura 2 sendo possível verificar que, ao decorrer do tempo de monitoramento, houve diferenças na voltagem (V) do nanobiossensor em relação as soluções de Ni e a água ultrapura. Pode-se observar também que houve diferenças entre as soluções de 100 e 200 µg/L de Ni, revelando que o mesmo consegue detectar a presença de metais no meio.

A diferença observada em relação ao branco e as diferentes concentrações estudadas pode ser explicada pelo fato de que a urease é um receptor biocatalítico comum, o qual tem o poder de reconhecer íons de metais pesados, por meio do mecanismo de inibição da enzima, baseando-se nas interações entre íons dos metais pesados e grupos químicos apresentados no centro ativo da enzima (Ogończyk *et al*., 2005). Essa interação da enzima como o metal pesado causa a deflexão do cantilever à qual é possível medir e transduzir para um sinal mensurável como a voltagem.

Dessa forma, Gabrovska e Godjevargova (2009) afirmam que a redução da atividade da urease na presença de diferentes concentrações de metais pesados pode ser utilizadas para análises quantitativas destes metais em solução.

Ogończyk *et al.* (2005) produziram, por meio de serigrafia, um biossensor potenciométrico baseados na enzima urease, onde a detecção dos metais pesados era demonstrada por meio do sinal do biossensor em função da atividade enzimática. Os autores observaram que após cinco ciclos de detecção e lavagem, houve um decaimento desprezível do sinal, significando que a detecção não é destrutivo para a enzima urease.

Já no trabalho de Gabrovska e Godjevargova (2009) utilizaram um biossensor baseado na redução da atividade da urease para determinação das concentrações de metais pesados, os autores ordenaram os metais de acordo com seus efeitos inibitórios, seguindo a seguinte sequência: Cu > Cd > Zn > Ni > Pb.

Prosposito *et al*. (2016) utilizando nanopartículas em nanosensores ópticos para monitoramento para diferentes íons metálicos na concentração de 1000 µg/L em água demonstraram seletividade principalmente aos íons de níquel.

## 4. CONCLUSÃO

O desempenho dos nanobiossensores baseados em enzima urease, imobilizadas sobre um cantilever de ouro modificado com camada auto-organizada mostrou-se eficiente para a detecção de íons de níquel, revelando serem potenciais sensores na detecção de metais pesados em água. Sendo assim, podemos afirmar que a metodologia desenvolvida é viável e promissora na detecção de níquel em água.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - Código Financeiro 001 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul -FAPERGS, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e URI Erechim.

## 6. REFERÊNCIAS

Brasil, 2005. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. *CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente)*. Disponível em: < http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acesso em: 09 de setembro de 2019.

Brasil, 2011. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. *Ministério da Saúde*. Diário Oficial da União. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 09 de setembro de 2019.

Cadore, S., Matoso, É., Santos, M. C., 2008. A espectrometria atômica e a determinação de elementos metálicos em material polimérico. *Química Nova*, v. 31, n. 6, p. 1533-1542.

Cornelis, R., Caruso, J., Crews, H., Heumann, K., 2003. Handbook of Elemental Speciation. *Techniques and Methodology*, John Wiley: Chichester.

Gabrovska, K., Godjevargova, T., 2009. Optimum immobilization of urease on modified acrylonitrile copolymer membranes: Inactivation by heavy metal ions. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. v. 60, n. 1–2, p. 69–75.

Gu, Z., Song, W., Yang, Z., Zhou, R., 2018. Metal–organic framework as an efficient filter for the removal of heavy metal cations in water. *Physical Chemistry Chemical Physics*. v. 20, n. 48, p. 30384–30391.

Hao, J.-N., Yan, B., 2015. A water-stable lanthanide-functionalized MOF as a highly selective and sensitive fluorescent probe for Cd 2+. *Chemical Communications*, v. 51, n. 36, p. 7737–7740.

Harris, D. C., 2005. *Análise Química Quantitativa*, 5ª ed., LTC: Rio de Janeiro.

Krajewska, B., 2009. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 59, n. 1–3, p. 9–21.

Leite, F. L., Herrmann, P. S. P., 2005. Application of atomic force spectroscopy (AFS) to studies of adhesion phenomena: a review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, v. 19, n. 3–5, p. 365–405.

Mandler, D., Kraus-ophir, S., 2011. Self-assembled monolayers (SAMs) for electrochemical sensing. *Journal of Solid State Electrochemistry*, v. 15, n. 7–8, p. 1535–1558.

Martinazzo, J., Muenchen, D. K., Brezolin, A. N., Cezaro, A. M., Rigo, A. A., Manzoli, A., Hoehne, L., Leite, F. L., Steffens, J., Steffens, C., 2018. Cantilever nanobiosensor using tyrosinase to detect atrazine in liquid medium. *Journal of Environmental Science and Health*, Part B, v. 53, n. 4, p. 229–236.

Muenchen, D. K., Martinazzo, J., Brezolin, A. N., De Cezaro, A. M., Rigo, A. A., Mezarroba, M. N., Manzoli, A., De Lima Leite, F., Steffens, J., Steffens, C., 2018. Cantilever functionalization using peroxidase extract of low cost for glyphosate detection. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 186, n. 4, p. 1061–1073.

Ogończyk, D., Tymecki, Ł., Wyżkiewicz, I., Koncki, R., Głąb, S., 2005. Screen-printed disposable urease-based biosensors for inhibitive detection of heavy metal ions. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 106, n. 1, p. 450–454.

Prosposito, P., Mochi, F., Ciotta, E., Casalboni, M., De Matteis, F., Venditti, I., Fontana, L., Testa, G., Fratoddi, I., 2016. Hydrophilic silver nanoparticles with tunable optical properties: application for the detection of heavy metals in water. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, v. 7, p. 1654–1661.

Saini, R. K., Bagri, L. P., Bajpai, A. K., 2017. Smart nanosensors for pesticide detection. In: *New Pesticides and Soil Sensors*. [s.l.] Elsevier, p. 519–559.

Settle, F., 1997. Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry. Prentice Hall PTR: New Jersey.

Shahzad, B., Tanveer, M., Rehman, A., Cheema, S. A., Fahad, S., Rehman, S., Sharma, A., 2018. Nickel: whether toxic or essential for plants and environment - A review. P*lant Physiology and Biochemistry*, v. 132, p. 641–651.

Sharma, P., Gandhi, S., Chopra, A., Sekar, N., Raman Suri, C., 2010. Fluoroimmunoassay based on suppression of fluorescence self-quenching for ultra-sensitive detection of herbicide diuron. *Analytica Chimica Acta*, v. 676, n. 1–2, p. 87–92.

Steffens, C., Leite, F. L., Bueno, C. C., Manzoli, A., Herrmann, P. S. D. P., 2012. Atomic Force Microscopy as a Tool Applied to Nano/Biosensors. *Sensors*, v. 12, n. 6, p. 8278–8300.

Velanki, S., Ji, H.F., 2006. Detection of feline coronavirus using microcantilever sensors. *Measurement Science and Technology*, v. 17, n. 11, p. 2964–2968.
Verma, R., Dwivedi, P., 2013. Heavy metal water pollution- A case study. *Recent Research in Science and Technology*, v. 5, n. 2076–5061, p. 98–99.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE SEMENTES NA CULTURA DA SOJA (*GLYCINE MAX* L.)

**Josieli Fátima Vesoloski**
**Ariel Mateus Bandiera**
**Marilia Rodrigues da Silva**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI. Rod. RS 331, nº 345, Bairro Demoliner, Erechim-RS
josy_vesoloski@hotmail.com, arielbandiera@gmail.com, mariliaagro@bol.com.br.

*Resumo: O cultivo da soja é a atividade agrícola de maior importância no país. O Brasil é o segundo maior produtor mundial desta cultura. O tratamento de sementes é uma das medidas essenciais para garantir a produtividade da lavoura. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da cultura aos diferentes tipos de tratamentos de sementes quanto ao ataque de pragas e produtividade da cultura. Os diferentes tipos de tratamento de sementes foram aplicados com máquinas industriais (TSI) e em seguida ocorreu a semeadura no sistema plantio direto. Os tratamentos utilizados foram: 1) Testemunha: sem tratamento de semente; 2) Caixa Vigor e Praga: Cruiser, Maxim Advanced, Fipronil; 3) Fortenza Duo: Fortenza, Cruiser, Maxim Advanced. As variáveis analisadas foram: número de plantas por m$^2$, número de plantas por metro linear, produtividade e presença de pragas através do monitoramento da lavoura. As seguintes pragas: lagarta maçã, percevejo verde, metaleiro, vaquinha marrom e vaquinha não diferiu-se em nenhum dos tratamentos utilizados. O melhor tratamento para o controle da lagarta da soja foi o Fortenza. Já para a lagarta falsa medideira não houve diferença significativa entre o tratamento Fortenza e Fipronil, mas para o percevejo barriga verde não notou-se diferença entre os tratamentos Fortenza e testemunha. Fortenza apresentou os melhores resultados para número de plantas por m$^2$ e linear. A maior produtividade foi encontrada no tratamento Fortenza e Fipronil.*

*Palavras chave: Manejo Integrado de Pragas, TSI, Produtividade.*

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L.) é a atividade agrícola de maior importância no país (Brand *et al.*, 2009). O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, observa-se ainda, uma tendência na expansão de áreas para cultivo desta cultura no Brasil (Conab, 2017).

A produção e qualidade de uma lavoura de soja dependem da qualidade da implantação, etapa onde é necessário atentar para as técnicas de manejo adequadas como preparo do solo, época de semeadura, densidade e profundidade de semeadura adequada, além de medidas protetivas para controle de pragas e doenças (Thomas & Costa, 2010).

Um dos fatores associados ao sucesso da lavoura é a qualidade das sementes (Cunha *et al.*, 2014). Desta forma a recomendação é sempre optar pela aquisição de sementes de qualidade para diminuir riscos com relação ao potencial genético, emergência e produtividade (Sinclair, 1991).

O tratamento de semente é muito importante na fase inicial da cultura onde as plântulas são mais suscetíveis ao ataque de pragas, essas pragas podem se encontrar no solo ou até mesmo nos restos culturais (Dupont Pioneer, 2017). São classificadas como pragas iniciais aquelas que ocorrem nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura, ou seja, até 25/30 dias após a emergência da cultura. Estas pragas podem destruir a semente em processo de germinação ou até as plântulas, o que acarretará na redução do estande (número de plantas por unidade de área) ou afetar o desenvolvimento da planta que tenha resistido ao ataque (Cotrisoja, 2019).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da cultura aos diferentes tipos de tratamentos de sementes quanto ao ataque de pragas e produtividade da cultura.

## 2. MATERIAL E METODOS

A área do experimento localiza-se na Comunidade Linha 3 Betel no interior do município de Paulo Bento-RS, apresenta as coordenadas 27°40’955’’S e 052°19’882’’w localizada na propriedade do Sr. Ari Luis Bandiera. O experimento foi desenvolvido em meio a uma lavoura comercial, no local utilizou-se uma área total de aproximadamente 1.071,72 m² divididos em 12 canteiros (unidades experimentais), de 74,1 m² contendo um espaçamento de 0,76 m entre as parcelas.

O controle de plantas daninhas realizou-se com o herbicida Roundup® (glifosato) e 2,4D NORTOX®, nas doses de 2 l/ha, 60 dias antes do plantio. Foi realizada a aplicação do herbicida Gramoxone® dois dias após a semeadura.

A semeadura foi realizada no sistema de plantio direto, com densidade de semeadura de 350 mil plantas por hectare da cultivar Brasmax Ativa RR, peneira 6,5 e categoria S1, com espaçamento de 38 centímetros entre linhas para as unidades amostrais. A adubação foi realizada conforme análise de solo, utilizando na linha de semeadura 330 kg de adubo químico na fórmula NPK 05-30-15 e 10 dias após a emergência das plantas foi aplicado cloreto de potássio a lanço na dose de 120kg/ha.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso. O tratamento de semente foi industrial (TSI) (Tabela 1 e 2). A semeadura foi realizada com uma semeadora Case SSM23 acoplada a um trator Case 150 maxumm.

Os tratamentos utilizados foram os seguintes:

1) Testemunha: sem tratamento de semente;
2) Caixa Vigor e Praga: Cruiser, Maxim Adivanced, Fipronil e polímero;
3) Fortenza Duo: Fortenza, Cruiser, Maxim Advanced e polímero.

Tab. 1- Descrição do tratamento Caixa Vigor e Praga completo com doses e alvos dos produtos utilizados

| **Caixa Vigor e Praga (Tratamento por 100 Kg de semente)** | | |
|---|---|---|
| CRUISER 350 FS= 150 ml | MAXIM ADV= 100 ml | FIPRONIL= 100 ml |
| Lagarta elasmo<br>Cupim-de-monticulo<br>Mosca branca | *Pythium, Fusarium*<br>Antracnose<br>*Aspergilus, Rhizoctonia* | Tamanduá da soja<br>Diabrótica<br>Lagarta elasmo |
| Tamanduá de soja<br>Corós<br>Diabrótica | *Sclerotinia* na semente | Piolho de cora<br>Corós<br>Torrãozinho |
| * Efeito bioativador * | * Polímero= 100 ml | ***Gloss= 200 g |

Tab. 2- Descrição do tratamento Fortenza DUO completo com doses e alvos dos produtos utilizados

| **FORTENZA DUO (Tratamento por 100 Kg de semente)** | | |
|---|---|---|
| FORTENZA 600FS= 60 ml<br>*Helicoverpa armígera* | CRUISER 350 FS= 200 ml<br>Lagarta elasmo | MAXIM ADV= 100 ml<br>*Pythium, fusarium, Cercospora kikuchii* |
| Lagarta elasmo<br>Coros | Cupim-de-monticulo<br>Mosca branca | Antracnose<br>*Aspergilus, Rhizoctonia, Septoria* |
| Tamanduá da soja<br>Vaquinhas/cascudinhos<br>Mosca branca | Tamanduá de soja<br>Coros<br>Diabrótica | *Sclerotinia* na semente<br>Rhizoctinia |
| * Efeito bioativador | ** Polímero= 100 ml | ***Gloss= 200 g |

As variáveis analisadas foram: presença de pragas, número de plantas por m², número de plantas por metro linear e produtividade. Para avaliação da presença de pragas no experimento o monitoramento da lavoura foi realizado uma vez por semana durante o primeiro mês após a emergência das plantas, onde foi utilizada a técnica de contagem direta por amostragem. Para isto foi analisado no centro da parcela, uma área de um metro quadrado, nesta etapa se fez a contagem das pragas que apareceram mais frequentemente que foram identificadas e quantificadas.

O tratamento fitossanitário com relação a plantas daninhas, doenças e pragas após o primeiro mês foram idênticos para todos os tratamentos.

Para análise dos resultados utilizou-se o programa estatístico Costat, realizou-se análise da variância e teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pragas iniciais na cultura costumam atacar sementes, raízes e plantas em estágio inicial, sendo assim foi observado que as plantas do experimento tiveram um bom desenvolvimento desde o início da emergência.

Na emergência da cultura iniciou-se o monitoramento da lavoura, para fins de avaliação da presença e quantidade de pragas visto que a efetividade do tratamento de semente com relação ao controle de pragas se dá nos primeiros dias após a semeadura. Desta forma este monitoramento estendeu-se até o primeiro mês após a semeadura. Igualmente nesta fase foi realizada as avaliações contagem do número de plantas por metro linear e por metro quadrado visando associar com possível falhas na semeadura e também com ataque de pragas iniciais que são alvo do estudo com o tratamento de semente

Foram encontradas as seguintes lagartas (Figura 1): lagarta maçã (Heliothis virescens), da soja (*Anticarsia gemmatalis*) e falsa medideira (*Chrysodexis includens*), bem como os coleópteros desfolhadores mais conhecidos como vaquinhas (*Diabrotica speciosa*), vaquinha marrom (*Cerotoma arcuata*) e metaleiro (*Maecolaspis calcarisera*). Também foi observada a presença dos percevejos verde (*Nezara viridula*) e barriga verde (*Dichelops melacanthus*). Para as demais pragas encontradas não foram realizadas as avaliações estatísticas devido à baixa incidência e estão representadas na Figura 2.




Fig. 1- Lagartas desfolhadoras presentes no experimento a) Lagarta da Soja; b) Lagarta Falsa Medideira; c) Lagarta das Maçãs.




Fig. 2- Insetos encontrados no experimento a) Joaninha; b) Lagarta-Militar; c) Cascudinho Verde; d) Diabrotica; e) Cigarrinha; f) Percevejo Marrom; g) Metaleiro; h) Percevejo barriga verde; i) Vaquinha Marrom; j) Percevejo-Castanho; l) Lagarta da Maçã; m) Vaquinha Marrom.

Após análise dos dados constou-se uma presença menor das pragas lagarta maçã, percevejo verde, metaleiro, vaquinha e vaquinha marrom nos tratamentos utilizando o tratamento de semente com Fortenza e Fipronil, porém sem diferença estatística. Analisando as pragas Lagarta da Soja, Falsa Medideira e o Percevejo Barriga Verde foi observada diferenças estatísticas conforme dados apresentados na Tabela 3.

Para a praga lagarta da soja houve diferença estatística entre os tratamentos sendo que o tratamento com Fortenza apresentou superioridade com relação aos demais visto que se observaram menos pragas. Já para a lagarta falsa medideira, os tratamentos utilizando Fortenza e Fipronil apresentaram menor número da praga sendo superiores a testemunha e não diferiram entre si.

Tab. 3- Média do número de pragas observadas nas parcelas da cultura da soja, cujas sementes foram submetidas a diferentes tratamentos de sementes, safra 2018/2019.

| Tratamentos | Média do número de pragas observadas | | |
|---|---|---|---|
| | Lagarta da Soja | Lagarta Falsa Medideira | Percevejo Barriga verde |
| Testemunha | 1,6 b | 1,05 b | 0,2 ab |
| Fipronil | 1,1 b | 0,35 a | 0,45 b |
| Fortenza | 0,4 a | 0,4 a | 0 a |

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Para o inseto percevejo barriga verde também foi observado diferença significativa entre os tratamentos sendo que o tratamento utilizando Fortenza foi superior ao tratamento que utilizou Fipronil, mas não diferiu da testemunha, Fipronil e testemunha não diferiram entre si. No tratamento utilizando Fortenza não foi observado nenhum percevejo desta espécie o que sugere efeito positivo do tratamento.

De maneira geral o número de insetos observados durante o monitoramento foi baixo, o que pode ser devido a cultivar utilizada que contém em sua composição genética o gene bt que confere a característica de resistência a insetos.

O resultado final da lavoura reflete o bom desenvolvimento inicial, para isto os dados sobre os componentes do rendimento, como número de plantas por metro linear e por m², bem como a produtividade são importantes para demonstrar a eficiência dos tratamentos iniciais aplicados na lavoura.

Um dos componentes do rendimento mais importantes é o número de plantas por metro linear e plantas por metro quadrado pois estas variáveis refletem as boas condições ambientais na instalação bem como manejo correto de equipamentos na semeadura. Outra afirmação importante é de que falhas na germinação e emergência podem ser devido a pragas iniciais da cultura, esta análise é necessária para validar a eficiência do tratamento de sementes. Para estas variáveis foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos como apresentados na Tabela 4.

Tab. 4- Média do número de plantas por metro linear e por metro quadrado observados nas parcelas da cultura da soja, cujas sementes foram submetidas a diferentes tratamentos de sementes, safra 2018/2019.

| Tratamentos | Plantas por metro linear | Plantas por metro quadrado |
|---|---|---|
| Testemunha | 11.0 c | 23.0 c |
| Fipronil | 13.0 b | 27.3 b |
| Fortenza | 15.1 a | 31,7 a |

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Para estas variáveis o tratamento com Fortenza foi superior ao tratamento utilizando Fipronil e a Testemunha, o Tratamento com Fipronil também se apresentou maior que a testemunha onde não foi utilizado tratamento se sementes. Estes tratamentos possuem fungicida, inseticida e micronutrientes que protegem a semente para que possa expressar o seu potencial germinativo e vigor, esta proteção se dá na fase inicial especialmente contra o ataque de pragas e fungos melhorando as condições de estabelecimento da cultura.

Desta forma a análise da produtividade colhendo a unidade experimental toda refletir melhor as diferenças entre os tratamentos. Esta produtividade final da lavoura diz respeito a produção por área o que podemos associar com a eficiência do processo produtivo, este resultado está apresentado na Figura 3, porém não apresentou diferença significativa.

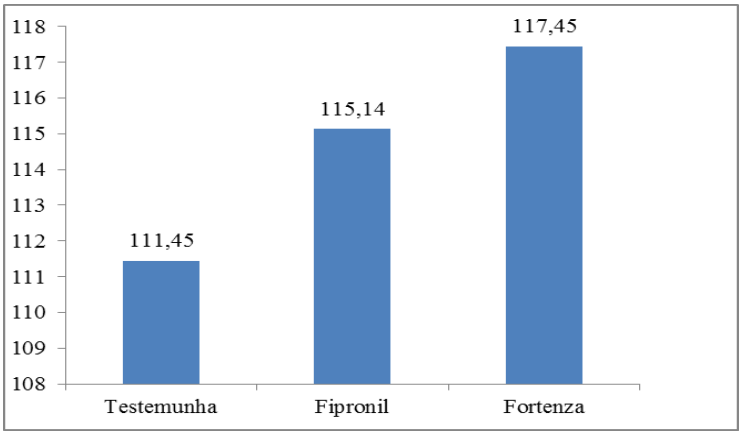



Fig. 3- Produtividade de grãos de soja (sc.ha$^{-1}$) submetida a diferentes tratamentos de sementes

Embora sem diferença estatística no quesito produtividade por hectare, nota-se produção diferenciada com cerca de 6,35 sacos por hectare (com preço em 04/06/2019, R$ 72,40 soma-se em um valor aproximado de R$ 460,00 por hectare) do tratamento utilizando Fortenza para a testemunha e comparando o Tratamento Caixa Vigor e Praga com testemunha apresentou uma diferença de 3,69 sacos por hectare (um valor aproximado de R$ 267,50 por hectare). Levando em consideração a mão de obra e custo do tratamento de semente que foi de R$ 61,18, um lucro de R$ 398,82 por hectare em relação a testemunha, e em relação aos tratamento Caixa Vigor e Praga, produzindo um lucro de R$ 131,40 por hectare. Através desta tecnologia pode ser considerar a alternativa viável em nível de rentabilidade.

Um aspecto observado no experimento foi o aparecimento de plantas daninhas como azevém (*Lolium multiflorum* L.), corda de viola (*Ipomoea grandifolia*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), picão (*Bidens pilosa*) Figura 4. Para controle utilizou-se os herbicidas Roundup® (glifosato) e 2,4D NORTOX®, nas doses de 2 L.ha-1. Foi realizada também a aplicação do herbicida Gramoxone® dois dias após a semeadura. Com a aplicação dos herbicidas acima citados, verificou-se bom controle das plantas invasoras não interferindo no crescimento das plantas nos blocos amostrado.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com condições testadas foi possível concluir que:

- Em relação as seguintes pragas: lagarta maçã, percevejo verde, metaleiro, vaquinha marrom e vaquinha não houve diferença em nenhum dos tratamentos utilizados.
- O melhor tratamento para o controle da lagarta da soja foi o Fortenza. Já para a lagarta falsa medideira não houve diferença significativa entre o tratamento Fortenza e Fipronil, mas para o percevejo barriga verde não notou-se diferença entre os tratamentos Fortenza e testemunha.
- Fortenza apresentou os melhores resultados para número de plantas por m$^2$ e linear.
- A maior produtividade foi encontrada no tratamento Fortenza e Fipronil.

## 5. REFERÊNCIAS

Brand, S. C. *et al*. 2009. "Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja subimetidas a tratamentoco bioprotetor e fungicidas". *Revista brasileira de sementes.* vol.4, p. 87-94.

Conab. 2017. "Acompanhamento da safra brasileira de grãos". 15 de Abril de 2019 <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_14_11_56_28_boletimgraosabril2017.pdf>.

Cotrisoja. 2019. "Pragas iniciais na cultura da soja". 28 de Maio de 2019.
< http://www.cotrisoja.com.br/pragas-iniciais-na-cultura-da-soja/>.

Cunha, R. P. *et al.* 2014. "Diferentes tratamentos de sementes sobre o desenvolvimento de plantas de soja". *Ciência Rural*, p. 1-7.

Dupont Pioneer. 2017. "Tratamento de sementes, ataque inicial de pragas e proteção da cultura da soja nas safras 2015-16 e 2016-17". 28 de Maio de 2019.
< http://www.pioneersementes.com.br/media-center/noticias/5674/>.

Sinclair, J.B. 1991 "Latent infection of soybean plants and seeds by fungi". *Plant Disease*, vol.75, p.220-4.

Thomas, A.L & Costa, J.A. 2010. "In soja: Manejo para alta produtividade de grãos". *Evangraf.* p. 248.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PRODUÇÃO DO TOMATE GRANDEUR E SUPREMO "R" SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CONDUÇÃO DE PLANTAS

**Josieli Fátima Vesoloski**
**Ariel Mateus Bandiera**
**Paulo Sérgio Gomes da Rocha**
Universidade Regional Integrada do alto Uruguai e das Missões – URI. Rod. RS 331, nº 345, Bairro Demoliner, Erechim-RS
josy_vesoloski@hotmail.com, arielbandiera@gmail.com, p.sergio.r@uol.com.br.

***Resumo:*** *O tomate possui grande importância econômica e social, apreciado mundialmente e consumido de inúmeras formas, seja in natura ou industrializado. O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de produção de tomate de duas cultivares e o efeito da condução das plantas na produção de tomate. O experimento foi conduzido em ambiente protegido em propriedade localizada no município de Barão de Cotegipe-RS. Os tratamentos adotados foram constituídos por Tomate Grandeur com haste única (T1), Tomate Supremo R com haste única (T2), Tomate Grandeur com haste dupla (T3), Tomate Supremo R com haste dupla (T4), Tomate Grandeur sem poda/tratamento controle (T5) e Tomate Supremo R sem poda/tratamento controle (T6). O delineamento experimental adotado foi inteiramente fatorial 2x3 (cultivar x número de hastes por planta), com 20 repetições de plantas por tratamento. As variáveis avaliadas foram a produtividade por planta (PL), produtividade estimada por hectare (PEH), diâmetro dos frutos (DF), comprimento dos frutos (CF), peso médio dos frutos (PMF), grau brix (ºBRIX), espessura da polpa (EP), número de frutos por cacho (NFC) e número total de frutos colhidos por planta (NTF). Os melhores sistemas de condução do tomateiro são as plantas com hastes duplas e sem eliminação das brotações. As plantas conduzidas sem desbrota produzem maior quantidade de frutos. Os tomates de maiores tamanhos são obtidos nas plantas conduzidas com uma e duas hastes. A cultivar de tomate salada Supremo R é mais produtiva.*

***Palavras chave:*** *Cultivo protegido, Solanum lycopersicum, Hortaliça fruto.*

## 1. INTRODUÇÃO

O tomate (Solanum lycopersicum L.) é considerado a principal hortaliça em volume consumida in natura no mundo (HACHMANN *et al*, 2014). A tomaticultura é considerada uma atividade de alto risco, isto decorre do fato desta cultura ser acometida por muitas doenças, distúrbios fisiológicos e pragas. De tal forma que esses fatores acabam afetando a qualidade e aparência do tomate (REIS & LOPES, 2010).

Deste modo, o cultivo em ambiente protegido apesar do seu alto custo de implantação, vem sendo amplamente utilizado, visto que aumenta significativamente a produtividade e a qualidade do fruto (ESALQ JR, 2019). Em relação às práticas de manejo, a poda de condução da planta pode ser considerada como uma das técnicas importantes na cultura do tomateiro. A prática consiste da retirada das brotações laterais do tomateiro. Ela objetiva deixar, normalmente, ao longo do desenvolvimento da planta uma ou duas hastes. Por outro lado, a prática de tutoramento busca fornecer suporte às plantas durante o crescimento do tomateiro (BECKER *et al*, 2016).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na propriedade do Sr. Emilio Vesoloski e família, localizada no interior do município de Barão de Cotegipe-RS, foi implantado no dia 20 de setembro de 2018, em estufa de polietileno com 76,8 m², localizado nas coordenadas do Google Earth (2019) 27º 38'13.41" S e 52º 23' 15.88" O, com elevação de 693 m. Foram utilizadas as cultivares de tomates Supremo R e Grandeur, ambas são do grupo salada, possuem hábito de crescimento indeterminado. As mudas na ocasião do transplante apresentavam 15,5 cm de altura e estavam com 40 dias após a semeadura.

O espaçamento adotado entre plantas foi de 0,7 m e entre as linhas 1,0 m, deixando-se 0,7 m entre linhas duplas.

Os tratamentos adotados foram constituídos por Tomate Grandeur com haste única (T1), Tomate Supremo R com haste única (T2), Tomate Grandeur com haste dupla (T3), Tomate Supremo R com haste dupla (T4), Tomate Grandeur sem poda/ tratamento controle (T5) e Tomate Supremo R sem poda/tratamento controle (T6).

Na condução das plantas com haste única foram eliminados todos os brotos laterais da planta. Para as plantas conduzidas com haste dupla, deixou-se a haste principal e um dos primeiros brotos se desenvolverem para a formação da segunda haste da planta. No tratamento controle deixaram-se todos os brotos da planta se desenvolverem.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente fatorial 2x3 (cultivar x número de hastes por planta), com 20 repetições de plantas por tratamento. As variáveis avaliadas foram à produtividade por planta (PL), produtividade estimada por hectare (PEH), diâmetro dos frutos (DF), comprimento dos frutos (CF), peso médio dos frutos (PMF), grau brix (ºBRIX), espessura da polpa (EP), número de frutos por cacho (NFC) e número total de frutos colhidos por planta (NTF).

Quanto ao manejo, a irrigação foi realizada por gotejamento, visando suprir as necessidades hídricas das plantas e a adubação foi realizada conforme a interpretação da análise de solo pelo manual de calagem e adubação para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 2016. Para adubação foi utilizado 18 kg de adubo NPK, cuja fórmula usada foi 6-14-8. O adubo foi distribuído na linha de semeadura e incorporado ao solo com o auxilio de uma enxada. Além disso, foi adicionado 3 kg de ureia dividida em três aplicações em cobertura, realizadas semanalmente.

Quanto ao tutoramento do tomateiro, o sistema usado foi o cruzado em “V” invertido. Em relação à amarração e desbrote (Figura 1), foi realizado conforme o tipo de tratamento adotado. Em todos os tratamentos foram realizadas amarrações, semanalmente, das plantas com o auxílio de barbante.



Figura 1 - Aspecto do broto de tomateiro antes da prática de desbrota, nas plantas conduzidas em haste única e haste dupla

A colheita dos tomates foi iniciada no dia 01 de dezembro de 2018 e finalizada no dia 25 de janeiro de 2019, totalizando um período de 56 dias de colheita. As variáveis diâmetro e altura do fruto, assim como espessura da polpa foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital. Quanto à determinação do peso do fruto, foi realizada em balança digital. Para a determinação do grau brix foi utilizado o suco de cinco tomates colhidos de forma aleatória. Após extraído o suco dos frutos em um recipiente foram coletadas algumas gotas para leitura no refratômetro digital, foram repetidas três vezes a leitura de cada tratamento.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se efeito significativo dos fatores estudados (cultivar e número de hastes por planta), porém não ocorreu interação entre eles. Notou-se efeito significativo para as variáveis diâmetro, comprimento e peso médio do fruto, número de frutos por cacho, número total de frutos, produtividade por planta e produtividade estimada por hectare. Por outro lado, não houve efeito significativo para as variáveis grau brix e espessura da polpa do tomate.

Pode-se observar na Tabela 1, que as plantas conduzidas com hastes única e hastes duplas apresentaram médias superiores ao tratamento controle para as variáveis diâmetro, comprimento e peso médio dos frutos. Por outro lado, não houve diferença entre as médias das plantas conduzidas em haste única e haste dupla. Charlo *et al*. (2009), avaliando o desempenho e qualidade de frutos de tomateiro com diferentes números de hastes, observaram que o comprimento dos frutos provenientes de plantas conduzidas em hastes únicas foram superiores aos frutos das plantas com hastes duplas.

Por outro lado, os mesmos autores não obtiveram diferença para a variável diâmetro do fruto. Heine *et al*. (2015), avaliando o espaçamento e o número de hastes na qualidade do tomate, obtiveram as maiores médias para as variáveis diâmetro do fruto e comprimento do fruto nas plantas conduzidas em haste única.

Tabela 1- Diâmetro (DF), comprimento dos frutos (CF) e peso médio dos frutos (PMF) para o tratamento número de hastes, Barão de Cotegipe-RS, 2019.

| Número de hastes | Variáveis | | |
|---|---|---|---|
| | DF (mm) | CF (mm) | PMF (g) |
| Única | 91,75a | 68,24a | 308,87a |
| Dupla | 91,76a | 66,32a | 286,70a |
| Tratamento controle | 84,14b | 62,13b | 211,02b |

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Data da análise até 18 de dezembro de 2018.

Quanto as variáveis diâmetro, comprimento e peso médio dos frutos, pode-se observar na Tabela 2, que as maiores médias (92,94; 67,90 e 302,75) foram obtidas com a cultivar Supremo R. Essa resposta obtida com a referida cultivar pode ser atribuída a um fator de ordem genética, pois, cada cultivar apresenta características próprias. Hachmann *et al.* (2017), avaliando duas cultivares de tomate obtiveram as maiores médias para diâmetro do fruto com a cultivar Rubi e comprimento do fruto com cultivar Caniles.

Tabela 2- Diâmetro (DF), comprimento dos frutos (CF) e peso médio dos frutos (PMF) para o tratamento Cultivar, Barão de Cotegipe-RS, 2019.

| Cultivar | Variáveis | | |
|---|---|---|---|
| | DF (mm) | CF (mm) | PMF (g) |
| Supremo R | 92,94a | 67,90a | 302,75a |
| Grandeur | 85,49b | 63,23b | 234,98b |

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Data da análise até 18 de dezembro de 2018.

Na Tabela 3 pode-se verificar que o grau brix e a espessura da polpa não apresentaram diferença entre os tratamentos usados, ou seja, que o número de hastes da planta não influenciou nas variáveis citadas. Charlo et al. (2009), avaliando o desempenho e qualidade de frutos de tomateiro com diferentes números de hastes, observaram que o grau brix não foi influenciado pelo número de hastes da planta. Por outro lado, Hachmann *et al.* (2017), avaliando duas cultivares de tomate com diferentes números de hastes, obtiveram a maior média com os tomates provenientes das plantas conduzidas com hastes duplas (6,68 ºBRIX).

Tabela 3- Grau brix (ºBRIX), espessura da polpa (EP) e número de frutos por cacho (NFC) para os tratamentos número de hastes, Barão de Cotegipe-RS, 2019.

| Número de hastes | Variáveis | | |
|---|---|---|---|
| | ºBRIX | EP (mm) | NFC |
| Única | 4,57a | 6,88a | 4,88a |
| Dupla | 4,42a | 7,75a | 4,83a |
| Tratamento Controle | 4,96a | 7,35a | 4,14b |

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Ainda na Tabela 3, quanto a variável número de frutos por cacho (NFC), pode-se observar que não houve diferença entre as médias das plantas conduzidas com haste única e haste dupla (4,88 e 4,83 frutos por cacho), mas elas foram superiores a média do tratamento controle (4,14 frutos por cacho).

Em relação as variáveis grau brix e espessura de polpa, pode-se observar na Tabela 4 que não ocorreu diferença entre as cultivares Supremo R e Grandeur. Quanto a variável número de fruto por cacho, ainda na mesma tabela, pode-se verificar que a média obtida com a Grandeur (4,95) foi superior a cultivar Supremo R (4,28). Hachmann *et al.* (2017), avaliando as cultivares de tomate Rubi e Caniles com diferentes números de hastes, obtiveram a maior média para a variável ºbrix nos tomates da cultivar Caniles.

Tabela 4- Grau brix (ºBRIX), espessura da polpa (EP) e número de frutos por cacho (NFC) para o tratamento Cultivar, Barão de Cotegipe-RS, 2019.

| Cultivar | Variáveis | | |
|---|---|---|---|
| | ºBRIX | EP (mm) | NFC |
| Supremo R | 4,44a | 7,51a | 4,28b |
| Grandeur | 4,86a | 7,14a | 4,95a |

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Quanto a variável número total de frutos por planta, pode-se verificar na Tabela 5 que a maior média (55,29 frutos) foi obtida no tratamento controle. Ainda na mesma tabela, nota-se que o número de frutos produzidos nas plantas com hastes duplas (34,84 frutos) foi superior aos da planta haste única (24,18 frutos).

Quanto à produtividade por planta e produtividade estimada por hectare, observou-se que as médias obtidas com as plantas conduzidas em hastes duplas (9417,94 e 175,49) foram superiores as de hastes únicas (7075,05 e 131,83). Por outro lado, não se observou diferença entre as médias das plantas conduzidas em hastes duplas com o tratamento controle (Tabela 5).

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os obtidos por Carvalho & Neto (2005), Charlo *et al.* (2009) e por Hachmann *et al.* (2017) os quais avaliaram o cultivo do tomateiro conduzido com haste única e hastes dupla, e obtiveram as maiores médias para as variáveis número total de frutos e produtividade nas plantas conduzidas em haste dupla.

Tabela 5- Número total de frutos (NTF), produtividade por planta (PL) e produtividade estimada por hectare (PEH) para o tratamento número de hastes, Barão de Cotegipe-RS, 2019.

| Número de hastes | Variáveis | | |
|---|---|---|---|
| | NTF | PL (g) | PEH (t ha -1) |
| Tratamento Controle | 55,29a | 10028,51a | 186,87a |
| Dupla | 34,84b | 9417,94a | 175,49a |
| Única | 24,18c | 7075,05b | 131,83b |

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em relação ao número total de frutos por planta, pode-se verificar na tabela 5 que não houve diferença entre as cultivares de tomate avaliadas. Ainda na mesma tabela, a cultivar Supremo R apresentou as maiores médias (9679,12 e 180,36) para as variáveis produtividade por planta e produtividade estimada por hectare.

Quanto ao surgimento das pragas e doenças que acometeram a cultura, ao longo do período de cultivo foram observadas as seguintes pragas: lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*) e broca grande (*Helicoverpa zea*). E em relação às doenças, observou-se o surgimento de murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*) e mosaico (*Tomato mosaic vírus*).

Para o controle da lagarta rosca, foi usado o inseticida Decis® 25 EC (Deltametrina), na dose de 50 mL para cada 100 litros de água. Foi necessária a reaplicação após sete dias. Obteve-se sucesso no controle da praga acima citada.

Para o controle da *Helicoverpa zea* no tomateiro foi usado o inseticida Premio® (Deltametrina) na dose de 15 mL para cada 100 litros de água. Foram duas aplicações com intervalo de 14 dias, o controle da praga foi atingido com êxito.

Em relação a doença virótica causada por *Tomato mosaic vírus* e para a murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici*) o controle realizado foi o controle cultural, ou seja foram eliminadas as plantas doentes, pois não há medidas de controle por meio de produtos fitossanitários.

Além de pragas e doenças observaram-se também alguns distúrbios fisiológicos os quais estão relacionados a deficiências nutricionais como lóculo aberto, devido à deficiência de boro. Entre os distúrbios fisiológicos relacionados às deficiências nutricionais em plantas de tomate o fundo preto esta associado com a deficiência de cálcio na planta, e observou-se também a deficiência de magnésio nas folhas do tomateiro.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com condições testadas foi possível concluir que:

- Os melhores sistemas de condução do tomateiro são as plantas com hastes duplas e plantas sem eliminação das brotações.
- As plantas conduzidas sem desbrota produzem maior quantidade de frutos.
- Os tomates de maiores tamanhos são obtidos nas plantas conduzidas com uma e duas hastes.

- A cultivar de tomate salada supremo R é mais produtiva.

## 5. REFERÊNCIAS

Becker, W.F.; Wamser, A.F.; Feltrim, A.L. Suzuki, A.; Santos, J.P. Valmorbida, J.; Hahn, L.; Marcuzzo, L.L.; Mueller, S. Sistema de produção integrada para o tomate tutorado em Santa Catarina. EPAGRI, 2016, 149p.

Carvalho, L.A.; Neto, J.T. Produtividade de tomate em ambiente protegido, em função do espaçamento e número de ramos por planta. Horticultura Brasileira. v.23, n.4, p.986-989, 2005.

Charlo, H.C.O.; Souza, S.C.; Castoldi, R.; Braz, L.T. Desempenho e qualidade de frutos de tomateiro em cultivo protegido com diferentes números de hastes. Horticultura Brasileira. v.27, n.2, p.144-149, 2009.

Esalq JR. (ESALQ. JR Consultoria). Tomaticultura em cultivo protegido. São Paulo. 2019. Disponível em:<https://www.esalqjuniorconsultoria.com/guia-rapido-tomaticultura-cultivo-protegido/>. Acesso em 14 de junho de 2019.

Hachmann, T.L.; Dalastra, G.M.; Lozano, C.L.; Rezende, R.; Echer, M.M. Cultivo do tomateiro com diferentes números de hastes por planta e formas de estabelecimento. Journal of Agronomic Sciences, v.6, n.2, p.49-60, 2017.

Hacmann, T.L.; Echer, M.M.; Dalastra, G.M.; Vasconcelos, E.S.; Guimarães, V.F. Cultivo do tomateiro sob diferentes espaçamentos entre plantas e diferentes níveis e desfolha das folhas basais, Bragantia, v.73, n.4, p.399-406, 2014.

Heine, A.J.M.; Moraes, M.O.B.; Porto, J.S.; Souza, J.R.; Rebouças, T.N. H.; B.S.R. Santos. Número de haste e espaçamento na produção e qualidade do tomate. Scientia Plena. v.11, n.09, p.1-7, 2015.

Reis, A.; Lopes, C.A. Chave do sucesso. Revista de Defesa Vegetal. Cultivar Hortaliças e Frutas, ano VIII, n.59, p.12-15, 2010.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DEJETO LÍQUIDO SUÍNO E PÓ DE ROCHA COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA A ERVA-MATE

**Lenir Fátima Gotz**
Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, nº 1540, Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba, PR, Brasil
lenirgotz@gmail.com
**Bruna Letícia Anzolin**
Universidade Federal da Fronteira Sul, Rodovia ERS 135, Km 72, nº 200, CEP 99700-97, Erechim, RS, Brasil
banzolin23@gmail.com

**Alfredo Castamann**
Universidade Federal da Fronteira Sul, Rodovia ERS 135, Km 72, nº 200, CEP 99700-97, Erechim, RS, Brasil
alfredo.castamann@uffs.edu.br

**Mateus de Mattos**
Universidade Federal da Fronteira Sul, Rodovia ERS 135, Km 72, nº200, CEP 99700-97, Erechim, RS, Brasil
mateusdemattos@outlook.com

**Patricia Paula Kosak**
Universidade Federal da Fronteira Sul, Rodovia ERS 135, Km 72, n°200, CEP 99700-97, Erechim, RS, Brasil
patriciapaula.kosak@hotmail.com

**Resumo:** *O objetivo do trabalho foi avaliar o potencial de utilização de diferentes doses de dejetos líquidos de suínos (DLS), associadas ou não ao pó de rocha, como fonte de nutrientes à cultura da erva-mate aplicados em diferentes fases de crescimento. Para avaliar, em condições experimentais, o desempenho dessa combinação, foram instalados dois experimentos, um em casa de vegetação, com adubação de plantio e crescimento, e outro a campo, em um erval com três anos de idade, com adubação de formação de copa. As doses de DLS foram 0, 7, 14, 21, 28 m³ ha$^{-1}$ e 0, 11, 23, 35 e 47 m³ ha$^{-1}$, para o primeiro e o segundo experimento, respectivamente, sendo aplicadas de forma isolada ou associadas ao pó de rocha (2 t ha$^{-1}$), com três repetições. Verificou-se que a adubação de plantio e crescimento, quando associando as duas fontes, aumentou a altura de plantas e a área foliar da erva-mate, mas não alterou o diâmetro do colmo e a massa seca. Por outro lado, a aplicação de DLS, de forma isolada ou associada ao pó de rocha não aumentou a área foliar e a massa seca quando na adubação de formação de copa.*

**Palavras chave:** *Ilex paraguariensis*, adubação orgânica, basalto.

## 1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) apresenta destaque no cenário nacional, devido à sua contribuição no desenvolvimento regional, nas esferas econômica, social e ambiental (Bender *et al.*, 2014). É uma importante fonte de geração de emprego e renda ao longo de toda sua cadeia produtiva, além de possibilitar a conservação da fisionomia florestal nativa (Chaimsohn e Souza, 2012; Signor *et al.*, 2015). A erva-mate é considerada um alimento funcional nos setores farmacêutico e medicinal. No entanto, o setor produtivo dessa cultura carece de informações básicas, por exemplo, a respeito do manejo da adubação, que pode modificar o potencial de produção e a disponibilidade de matéria-prima (Wendling e Santin, 2015).

Esta cultura é reconhecida pela sua rusticidade, visto que consegue desenvolver-se em solos de baixa fertilidade natural. Tal característica reflete a atual situação do setor ervateiro, onde ainda persiste o modelo de produção extrativista. Entretanto, Wendling e Santin (2015) destacaram que em sistemas intensivos esta planta pode ser muito mais exigente em termos nutricionais, devido à elevada exportação de nutrientes com o produto colhido. Este é composto por folhas, galhos finos, botões florais e sementes, o que resulta em drástica redução na ciclagem natural de nutrientes, e torna o sistema incapaz de manter a sustentabilidade. Esta insustentabilidade é intensificada com as sucessivas colheitas e resulta em esgotamento da fertilidade do solo, com redução da produtividade do erval, o que inviabiliza economicamente a atividade de produção (Wendling e Santin, 2015).

A adubação orgânica pode ser utilizada como fonte de reposição dos nutrientes na cultura da erva-mate (Benedetti e Dallabrida, 2016), como os dejetos líquidos de suínos, que, quando aplicados no solo, contribuem para o

desenvolvimento e produtividade das culturas. Além disso, sua utilização como fonte de nutrientes às culturas constitui uma forma de "disposição adequada" deste resíduo, uma vez que a criação de suínos produz grande quantidade de dejetos com alto potencial poluente (Miyazawa e Barbosa, 2015). Todavia, os adubos orgânicos apresentam proporções desequilibradas de nutrientes, tornando-se necessário a complementação com outras fontes, dentre as quais o adubo mineral. Deve-se considerar que os adubos minerais solúveis apresentam rápida solubilização e liberação dos nutrientes, que se não absorvidos pelas plantas podem ser lixiviados ou volatilizados, com a consequente contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e da atmosfera (Wendlingg e Santin, 2015).

Neste contexto, o pó de rocha pode se constituir em alternativa à complementação da adubação orgânica, visto que pode fornecer muitos nutrientes simultaneamente, devido à composição variada dos minerais, e liberar os nutrientes de forma gradual, com efeito residual prolongado e assim diminuir os riscos de contaminação ambiental e os custos de produção, devido ao seu baixo custo (Van Straaten, 2006; Pádua, 2012; Ramos *et al.*, 2014). De acordo com Wendling e Santin (2015) fontes de liberação lenta de nutrientes com efeito prolongado são desejadas em culturas permanentes como a erva-mate.

Como a solubilização do pó de rocha é um processo associado a atividades biológicas, a associação com o dejeto pode acelerar a solubilização e a disponibilização dos nutrientes às plantas, aumentando a produção da erva-mate. Brugnera (2012) apontou que a utilização contínua do pó de rocha, isoladamente ou associado ao esterco, correspondeu a um baixo investimento pelo agricultor e com alta possibilidade de melhoria de produtividade e qualidade de produto. Na cultura do feijão, Ferreira *et al.* (2009), verificaram que pó de basalto associado ao esterco bovino apresentou potencial de incrementar o rendimento de grãos da cultura, quando comparado ao uso pó de rocha isoladamente. No entanto, Gotz *et al.* (2019) não constataram aumento na produtividade do trigo após um ano de aplicação de pó de rocha associado a esterco bovino.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de utilização de diferentes doses de dejetos líquidos de suínos (DLS), associadas ou não ao pó de rocha, como fonte de nutrientes à cultura da erva-mate, aplicados em diferentes fases de crescimento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em dois locais, um em casa de vegetação, localizada na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus de Erechim, na fase de plantio e crescimento, que corresponde até a primeira colheita do erval, e outro a campo, em uma área de cultivo comercial localizado na Linha São Roque, município de Severiano de Almeida (RS), pertencente à região fisiográfica do Alto Uruguai, no norte gaúcho, na fase de formação da copa, que acontece desde a primeira até a terceira colheita.

### 2.1 Adubação de plantio e crescimento

O solo utilizado no experimento realizado em casa de vegetação, com adubação de plantio e crescimento, foi coletado na área experimental da UFFS, na camada de 20 cm, classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico típico (Streck *et al.*, 2018; Embrapa, 2018). Os atributos químicos e físico do solo coletado para condução do experimento constam na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo utilizado para instalação do experimento com adubação de plantio e crescimento, na camada de 20 cm.

| pH | K | H+Al | Ca | Mg | Al | CTC | Índice SMP | Matéria orgânica | Argila | V | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | $cmol_c$ $dm^{-3}$ | | | | | | % | | | |
| 4,8 | 180 | 8,7 | 5,1 | 3,3 | 0,9 | 9,8 | 5,4 | 3,3 | 62 | 51 | 9,8 |

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de oito litros, dispostos de modo aleatório, seguindo o delineamento inteiramente casualizado. A partir dos resultados da análise de solo e da composição do DLS (N: 2,8 kg $m^{-3}$ e $P_2O_5$: 1,6 kg $m^{-3}$) foram definidas as doses do dejeto, que consistiram equivalentes a: 0, 7, 14, 21 e 28 $m^3$ $ha^{-1}$, associadas ou não a 2 t $ha^{-1}$ de pó de rocha (basáltica). O arranjo dos tratamentos foi em esquema fatorial, com cinco doses de DLS, com e sem pó de rocha, três repetições, totalizado 30 unidades experimentais. A definição das doses seguiu indicação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2016).

A adubação foi realizada no dia 04 de outubro de 2018 em mudas recém-implantadas. O único manejo realizado foi o controle de plantas concorrentes, por meio do arranquio manual, e irrigação (automática). As variáveis avaliadas foram: altura de plantas, diâmetro do colo, massa seca das plantas e área foliar. A altura da planta foi medida com uso de fita graduada, da base até a inserção da última folha e o diâmetro de colo foi medido com paquímetro digital. A avaliação da área foliar foi realizada em oito folhas de cada planta, com o auxílio de um medidor portátil, modelo CI-203 marca Bioscience.

**Adubação de formação da copa**

O erval comercial está estabelecido em área onde predominam solos das unidades de mapeamento Ciríaco-Charrua que ocorrem em associação e pertencem às ordens dos Chernossolos e Neossolos, respectivamente (Streck *et al.,* 2018; Embrapa, 2018). A área em que foi implantado o experimento era composta por plantas de erva-mate com três anos de idade. Os atributos químicos e físico do solo, anterior à instalação do experimento, constam na Tabela 2. Cada unidade experimental foi composta por três plantas, sendo que duas foram utilizadas como bordadura, e somente a planta central foi avaliada.

Tabela 2. Análise química e granulométrica do solo anterior à instalação do experimento com adubação de formação de copa, na camada 0-20 cm.

| pH | P | K | H+Al | Ca | Mg | Al | CTC | Índice SMP | Mat[eria orgânica | Argila | V | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_2O$ | mg $dm^{-3}$ | | | $cmol_c$ $dm^{-3}$ | | | | | % | | | |
| 5,4 | 2,1 | 59 | 4,9 | 5,2 | 2,9 | 0 | 13,2 | 5,9 | 2,7 | 54 | 63 | 0 |

A partir do resultado da análise do solo e da composição do DLS (N: 2,8 kg $m^{-3}$ e $P_2O_5$: 1,6 kg $m^{-3}$) foram definidas as doses do dejeto (SBCS, 2016), que foram equivalentes a 0, 11, 23, 35 e 47 $m^3$ $ha^{-1}$, associadas ou não com pó de rocha. A dose do pó de rocha utilizada foi correspondente a 2 t $ha^{-1}$, sendo sua obtenção oriunda de rocha basáltica. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso e o arranjo dos tratamentos foi em esquema fatorial, cinco doses de esterco líquido de suínos, com ou sem pó de rocha.

A adubação foi dividida em duas aplicações iguais, sendo a primeira no dia 26 de fevereiro de 2018 e a segunda no dia 26 de setembro do mesmo ano. As doses foram distribuídas na projeção da copa das plantas, a uma distância mínima de 40 cm, conforme recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2016). O único manejo realizado na cultura foi a roçada, a fim de controlar a vegetação concorrente, a qual serviu de cobertura nas entre linhas, mantendo o solo sempre protegido. Foram coletadas 30 folhas de cada parcela, onde foram avaliadas: área foliar e massa seca. A determinação da área foliar foi realizada com o auxílio de um medidor portátil, modelo CI-203 marca Bioscience.

**2.3 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância, análise de variância da regressão com as doses (variável quantitativa), teste de comparação de médias com a variável qualitativa (presença ou ausência de pó de rocha), e valor da probabilidade inferior a 5% ($p \leq 0,05$), com o auxílio do software estatístico SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2014).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

**3.1 Adubação de plantio e crescimento**

A aplicação de dejeto líquido suíno, quando associado ao pó de rocha, aumentou a altura das plantas de erva-mate, com efeito linear e crescente (Figura 1). Na cultura do trigo, Gotz *et al.* (2019) não verificaram efeito da associação de esterco bovino de pó de rocha na altura das plantas, somente efeito isolado de esterco bovino.

Por outro lado, a aplicação de doses crescentes de DLS, associadas ou não ao pó de rocha, não influenciaram o diâmetro de colo e a massa seca das plantas de erva-mate (Tabela 3). Mesmo tendo recebido a dose cheia da adubação de plantio e crescimento, as mudas ficaram sob condições experimentais por um curto período de tempo (seis meses), o que não possibilitou a promoção de melhoria nestas características avaliadas.

Em relação à área foliar, pode-se constatar interação entre os fatores testados (dejeto e pó de rocha). A maior área foliar foi obtida com a aplicação da maior dose de dejeto associado ao pó de rocha (Tabela 4). Esse resultado pode ser explicado devido à melhoria na atividade biológica, proporcionada pelo dejeto, o que aumentou a solubilização e a liberação dos nutrientes do pó de rocha, influenciando a área foliar, conforme foi observado por Brugnera (2012) no tamanho de plantas de rúcula adubadas com pó de rocha e cama de frango.

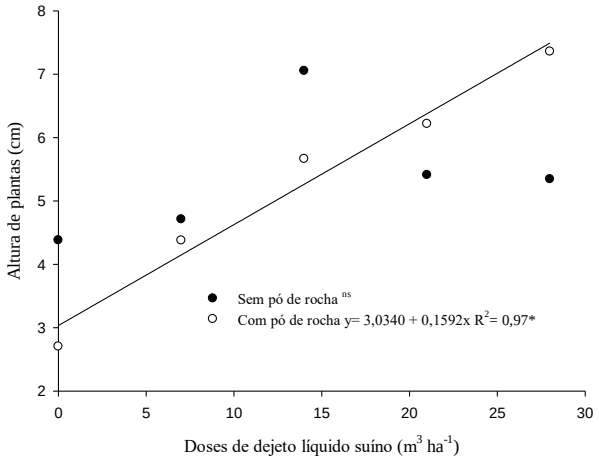



Figura 1. Altura das plantas (cm) de erva-mate cultivadas em casa de vegetação, em função de doses de dejeto líquido suíno ($m^3$ $ha^{-1}$), associadas ou não ao pó de rocha, na fase de plantio e crescimento. $^{ns}$ não significativo.

Tabela 3. Diâmetro do colo e massa seca de folhas de erva-mate cultivada em casa de vegetação e submetida à aplicação de doses de dejeto líquido suíno (DLS), associadas ou não ao pó de rocha, na fase de plantio e crescimento.

| Dose de DLS $m^3$ $ha^{-1}$ | Pó de rocha | Variáveis | |
|---|---|---|---|
| | | Diâmetro do colo (mm) | Massa seca (g) |
| 0 | Sem | 7,87 | 0,38 |
| | Com | 8,74 | 0,73 |
| 7 | Sem | 8,10 | 0,79 |
| | Com | 8,19 | 0,41 |
| 14 | Sem | 9,80 | 0,93 |
| | Com | 8,52 | 0,69 |
| 21 | Sem | 6,10 | 0,42 |
| | Com | 8,11 | 0,32 |
| 28 | Sem | 6,89 | 0,55 |
| | Com | 10,15 | 0,35 |

Tabela 4. Área foliar de folhas de erva-mate cultivadas em casa de vegetação, em função da aplicação de dejeto líquido suíno (DLS) e pó de rocha na fase de plantio e crescimento.

| Pó de rocha | Área foliar | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Doses de dejeto líquido suíno ($m^3$ $ha^{-1}$) | | | | | |
| | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | Média |
| Sem | 814,5 $^{ns}$ | 1494,2 $^{ns}$ | 1679,8 b | 2512,9 a | 414,9 b | 1383,3 b |
| Com | 484,0 | 1289,8 | 3143,3 a | 587,5 b | 4361,5 a | 1973,2 a |

(1) Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. $^{ns}$ não significativo.

### 3.2 Adubação de formação da copa

A aplicação de doses crescentes de DLS, associado ou não ao pó de rocha como adubação de formação de copa, não influenciou as variáveis analisadas (área foliar e massa seca das folhas) (Tabela 5). Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que o estudo foi implantado em uma área comercial e não em uma unidade experimental, ou seja, o erval já possuía três anos e por isso as plantas não eram uniformes, além de não ter sido possível o controle sobre as variáveis climáticas.

Tabela 5. Área foliar (AF) e massa seca de folhas de erva-mate em função da aplicação de dejeto líquido suíno (DLS), associado ou não ao pó de rocha.

| Dose de DLS $m^3\ ha^{-1}$ | Pó de rocha | Variáveis | |
|---|---|---|---|
| | | AF ($cm^2$) | Massa seca (g) |
| 0,00 | Sem | 6.498,8 | 7,2 |
| | Com | 6.018,5 | 6,0 |
| 11,80 | Sem | 4.635,3 | 8,0 |
| | Com | 10.131,1 | 8,7 |
| 23,50 | Sem | 8.602,8 | 8,3 |
| | Com | 11.144,0 | 8,4 |
| 23,50 | Sem | 10.332,3 | 9,4 |
| | Com | 14.420,4 | 9,6 |
| 35,2 | Sem | 15.253,6 | 5,3 |
| | Com | 5.666,2 | 7,8 |
| 47,00 | Sem | 6.498,8 | 7,2 |
| | Com | 6.018,5 | 6,0 |

## 4. CONCLUSÕES

A adubação de plantio e crescimento com dejeto líquido suíno associado ao pó de rocha aumentou a produção da erva-mate. No entanto, quando utilizado na formação de copa, nas condições avaliadas, o dejeto suíno, associado ou não ao pó de rocha, não aumentou a produção dessa cultura.

Recomenda-se a continuidade de pesquisas, com maior período de tempo, para possibilitar maior solubilização do pó de rocha e a liberação dos nutrientes a partir desta fonte, pois a disponibilidade em larga escala de ambas as fontes utilizadas neste trabalho, poderá contribuir com a diminuição de impactos ambientais e com o desenvolvimento sustentável. A erva-mate, por ser uma cultura perene, pode ser especialmente beneficiada por esse tipo de adubação, a qual pode melhorar a fertilidade do solo ao longo do tempo, diminuindo a necessidade de adubação constantemente, tornando-se economicamente viável, socialmente justa e ecologicamente correta.

## 5. REFERÊNCIAS

Bender, A.T, Neris, J.B, Böttcher, P., (2014). "Importância econômica da cultura da erva mate." In: *Seminário de iniciação científica*. Ijuí: Salão do Conhecimento.

Benedetti, E.L., Dallabrida, V.R., 2016. "Aspectos da multifuncionalidade no planalto norte catarinense: adubação orgânica no incremento da produção de erva-mate. *Desenvolvimento regional em debate*, Vol.6, 147-169.

Brugnera, R.L., 2012. *Avaliação do uso de pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da rúcula*. Trabalho de Conlusão de Curso, Faculdade Dinâmica de Cataratas, Foz do Iguaçu.

Chaimsohn, F.P., Souza, A.M., 2015. *Sistemas de produção tradicionais e agroflorestais no Centro-Sul do Paraná Norte Catarinense: contribuições para a construção do processo de Indicação Geográfica*. Ponta Grossa: Epagri, Iapar, 1° edição.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa, 5º edição.

Ferreira, D.F., 2014. "Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons." *Ciências e agrotecnologia*, Vol. 38, p. 109-112.

Ferreira, E.R.N.C., Almeida, J.A., Mafra, A.L., 2009. "Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Vol. 8, p. 111-121.

Gotz, L.F., Castamann, A., Piovesan, F., Anzolin, B.L., Herek, T.A., Mikoanski, W.M., Rita, Y.L., 2019. "Use of rock powder associated with bovine manure in Latossolo Vermelho cultivated with wheat." *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, Vol.9, p.131-139.

Miyazawa, M., Barbosa, G.M.C., 2015. *Dejeto Líquido de suíno como fertilizante orgânico: método simplificado*. Londrina: Iapar, 1º edição.

Pádua, E.J., 2012. *Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas.* Dissertação. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Ramos, C.G. Mello, A.G., Kautzmann, R.M., 2014. "A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application." *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, Vol. 1, p.30-35.

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., 2016. *Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.* Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 10º edição.

Signor, P., Gomes, G.S., Watzlawick, L.F., 2015. "Produção de erva-mate e conservação de Floresta com Araucária." *Pesquisa Florestal Brasileira*, Vol. 35, p. 199-208.

Streck, E.V., Kämpf, N., Dalmolin, R.S.D., Klamt, E., Nascimento, PC., Schneider, P., Giasson, E., Pinto, L.F.S., 2018. *Solos do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre: Emater, 2° edição.

Van Straaten, P., 2006. "Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Vol. 78, p. 731-747.

Wendling, I., Santin, D., 2015. *Propagação e nutrição de erva-mate*. Brasília: Embrapa, 1º edição.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# LIMITE ENTRE DEFICIÊNCIA E TOXIDEZ DE BORO NO CULTIVO DE MILHO

**Lenir Fátima Gotz**
Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, nº 1540, Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba, PR, Brasil
lenirgotz@gmail.com
**Fabiano Silvestrin**
fabiano.silvestrin@icloud.com

**Volnei Pauletti**
Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, nº 1540, Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba, PR, Brasil
vpauletti@ufpr.br

**Antônio Carlos Vargas Motta**
Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, n° 1540, Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba, PR, Brasil
mottaacv@ufpr.br

**Jessica Lima Viana**
Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, n° 1540, Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba, PR, Brasil
jessica_llivia@hotmail.com

**Resumo:** *O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de boro na produtividade do milho e definir limites críticos no solo. Foram conduzidos dois experimentos a campo, em Latossolo Bruno Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, ambos de textura média. Os tratamentos consistiram de seis doses de boro (0, 1, 2, 3, 4 e 12 kg $ha^{-1}$) e duas épocas de aplicação (semeadura e estádio V6). A aplicação de boro aumentou a produtividade do milho e o tamanho das espigas na segunda safra, quando a precipitação pluviométrica foi acima da média histórica. Aplicações de boro em estádio próximo ao florescimento (V6) do milho podem reduzir a produtividade de grãos devido à toxidez. Doses de boro para maiores produtividades de grãos do milho variam entre 4 a 5 $kg^{-1}$ e os níveis deste nutriente no solo entre 0,22 e 0,38 mg $dm^{-3}$ são mais adequados ao cultivo do milho.*

**Palavras chave:** *Zea mays, produtividade do milho, boro no solo.*

## 1. INTRODUÇÃO

O estado do Paraná é o segundo maior produtor nacional de milho, responsável por aproximadamente 17% da produção do país na safra 2018/19 (Conab, 2019). Este estado apresenta formação geológica muito variada o que implica em uma série de manejos agrícolas diversificados, principalmente relacionados à adição de nutrientes de menor disponibilidade no solo. A produção agrícola baseada no uso de cultivares com maior exigência nutricional, na redução do uso de adubos orgânicos e no aumento da pureza de fertilizantes, além da utilização de terras marginais, tem levado ao aumento acentuado da ocorrência de deficiências de micronutrientes (Fageria *et al.*, 2002). Em se tratando do milho, as deficiências mais frequentes estão relacionadas ao boro e ao zinco (Jamani *et al.*, 2006). Assim, a aplicação equilibrada de nutrientes desempenha papel fundamental na definição de produtividade, além da obtenção de maior retorno econômico e manutenção da fertilidade do solo (Kumar *et al.*, 2018).

A nutrição adequada do boro é fundamental não apenas para alta produtividade das culturas, mas também para a qualidade dos produtos, uma vez que está direta e indiretamente envolvida em muitas funções metabólicas das plantas (Blevins e Lukaszewski, 1998). No entanto, a eficiência da aplicação de boro apresenta resposta variada, devido a influência das características do solo – pH, mineralogia, textura e matéria orgânica – na dinâmica deste elemento, além da rápida lixiviação (Oliveira Neto *et al.*, 2009). Joshi et al. (2014) verificaram a interferência das características do solo na eficiência da aplicação de boro na produtividade de matéria seca de milho, sendo que os melhores resultados foram obtidos com a aplicação em solos ácidos e com baixo teor de argila. Do mesmo modo, Fageria (2000) verificou aumento da produtividade do milho com a aplicação de boro quando cultivado em solo ácido.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de boro na produtividade do milho e definir limites críticos no solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos no município de Ipiranga, região dos Campos Gerais do Paraná, sob sistema de plantio direto, em rotação de culturas soja/trigo/milho. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o Cfb, subtropical úmido, com precipitação pluviométrica média de 1554 mm $ano^{-1}$ (Iapar, 2010).

O primeiro experimento foi conduzido na safra 2008/2009, em um Latossolo Bruno Distrófico, de acordo com a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018), textura média, em área localizada a uma altitude de 905 m. O segundo experimento foi conduzido na safra 2009/2010, em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (Embrapa, 2018), textura média, em área localizada a uma altitude de 890 m. Os resultados da análise química e granulométrica, da camada de 0-20 cm, dos dois solos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química e granulométrica de Latossolo Bruno e Latossolo Vermelho-Amarelo anterior à instalação dos experimentos, na camada 0-20 cm.

| pH | P | B | K | Ca | Mg | Al | M.O. | Argila | Silte | Areia | V | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CaCl_2$ | mg $dm^{-3}$ | | ---------- $cmol_c$ $dm^{-3}$ ---------- | | | | g $dm^{-3}$ | ---------- % ---------- | | | | |
| Latossolo Bruno Distrófico típico | | | | | | | | | | | | |
| 4,9 | 11 | 0,17 | 0,11 | 2,4 | 1,2 | 0,19 | 31,63 | 28 | 13 | 59 | 46 | 4,9 |
| Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico | | | | | | | | | | | | |
| 5,1 | 14 | 0,19 | 0,14 | 2,9 | 1,4 | 0 | 22,17 | 33 | 14 | 53 | 53 | 0 |

Os tratamentos consistiram em seis doses de boro (0, 1, 2, 3, 4 e 12 kg $ha^{-1}$), aplicados em duas épocas (imediatamente antes da semeadura e no estádio V6 da cultura). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 6 (A) x 2 (B), com três repetições. No fator A alocaram-se as seis doses de boro, enquanto no fator B foram alocadas as épocas de aplicação. A fonte de boro utilizada foi o ácido bórico ($H_3BO_3$), contendo 17% de boro, aplicado sobre a superfície do solo. Cada unidade experimental apresentava 7 m de comprimento por 4,2 de largura, totalizando 29,4 $m^2$.

A semeadura foi realizada nos dias 15 de outubro de 2008 e 20 de outubro de 2009, com espaçamento de 0,8 m e 70.000 sementes $ha^{-1}$. O híbrido de milho utilizado nos dois experimentos foi o Pioneer 30P34 (híbrido triplo). Na adubação de semeadura foram utilizados 320 kg $ha^{-1}$ do formulado 12-25-12 (N, $P_2O_5$, $K_2O$), complementada com a aplicação de 165 kg $ha^{-1}$ de uréia (46% N) a lanço no estádio V4 e 180 kg $ha^{-1}$ do formulado 20-00-20 (N, $P_2O_5$, $K_2O$) no estádio V6 do milho, para ambas as safras, totalizando 150 kg $ha^{-1}$ de N, 80 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ e 75 kg $ha^{-1}$ de $K_2O$.

A produtividade de grãos foi obtida pela colheita de todas as espigas em quatro linhas de quatro metros (12,8 $m^2$) no centro da parcela, o valor obtido foi corrigido para 13% de umidade e posterior cálculo da produtividade em kg $ha^{-1}$. Avaliou-se o comprimento de 20 espigas por unidade experimental, para obtenção do tamanho. Para avaliação do teor de boro no solo, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm na área útil de cada parcela, em maio de 2010, após a colheita do milho. Cada amostra foi composta por 20 subamostras. A extração do boro no solo foi realizada utilizando e água quente e determinado segundo Bataglia (1983).

Os resultados foram submetidos à análise de variância. O efeito das doses de boro foi avaliado por equações de regressão.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira safra, não foi verificado influência da aplicação de boro na produtividade do milho, tanto em função da época de aplicação (Tabela 2), como das doses utilizadas (Figura 1a). Apesar do teor de boro no solo ser considerando baixo (Nepar, 2019), a produtividade obtida foi superior à média do estado do Paraná, que foi de 5.140 kg $ha^{-1}$ na mesma safra (Conab, 2019), provavelmente a matéria orgânica deve ter complementado o suprimento de boro às plantas (Abreu *et al.*, 2006; Debnath e Ghosh, 2014; Dechen *et al.*, 2018).

Tabela 2. Produtividade de milho (Pioneer 30P34) e tamanho das espigas, em função da época de aplicação de boro, nas safras 2008/09 e 2009/10.

| Época | Produtividade do milho (kg $ha^{-1}$) | | Tamanho das espigas (cm) | |
|---|---|---|---|---|
| | 2008/09 | 2009/10 | 2008/09 | 2009/10 |
| Semeadura | 8.228 a[(1)] | 8.562 a | 15,2 a | 15,2 a |
| Estádio V6 | 7.630 a | 7.563 b | 15,3 a | 14,8 b |

[(1)] Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

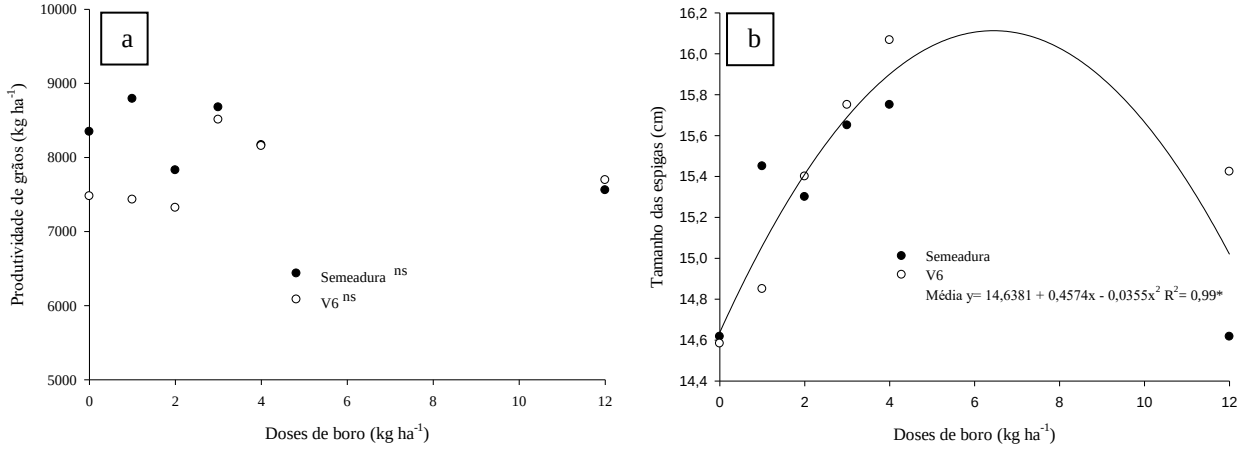



Figura 1. Produtividade de milho (a) e tamanho das espigas (b) em função da aplicação de doses de boro na semeadura e no estádio V6 da cultura, na safra 2008/09, no município de Ipiranga, região dos Campos Gerais do Paraná. ns não significativo.

No mês de dezembro foi verificada baixa precipitação (25 mm) (Figura 2), a qual coincidiu com o período crítico da cultura, que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos, e afeta a produtividade das plantas (Bergamaschi *et al.*, 2004). Assim, considerando o efeito do boro no crescimento radicular (Rawashdeh e Sala, 2013), e, sendo que a resposta mais rápida à deficiência de boro é a inibição do alongamento das raízes (Dell e Huang, 1997), esperava-se efeito deste elemento no período de estiagem, uma vez que o volume explorado pelo sistema radicular está diretamente relacionado à taxa de acesso a água e nutrientes pelas plantas.

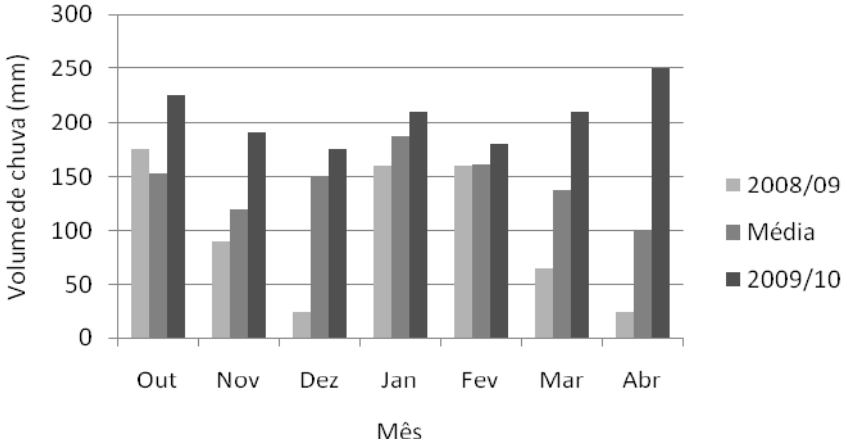



Figura 2. Precipitação ocorrida entre os meses de outubro de 2008 a abril de 2009 (2008/09), outubro de 2009 a abril de 2010 (2009/10) e média histórica de 1975-2010 para o Município de Ipiranga – PR (adaptado de Iapar, 2010).

Em relação ao tamanho das espigas, na primeira safra, não foi verificada influência da época de aplicação. Por outro lado, essa variável foi influenciada pelas doses de boro, ajustando-se por regressão à função polinomial de segundo grau (Figura 1b), sendo que a dose de boro estimada para a obtenção do máximo tamanho de espigas foi de 6,5 kg $ha^{-1}$.

Joshi et al. (2014) estudaram o efeito de boro em solos com distintas características, e observaram que a aplicação deste elemento melhorou a produtividade de matéria seca do milho, sendo que o efeito variou com as características dos solos (pH, textura e matéria orgânica). Kumar et al. (2018), trabalhando com solos que apresentavam pH entre 4,20 e 5,21, carbono orgânico entre 2,00-4,93 g $kg^{-1}$ e texturas franco-arenosa e franco-argilosa, verificaram aumento de 19% na produtividade de milho com aplicação de 2 kg $ha^{-1}$ de boro no solo (maior dose testada).

Na segunda safra avaliada verificou-se efeito isolado de época de aplicação e de dose de boro para produtividade de grãos e tamanho das espigas. No geral, a aplicação de boro no estádio V6 reduziu a produtividade média do milho (Tabela 2). Quanto ao efeito das doses de boro, ajustou-se por regressão à função polinomial de segundo grau (Figura

3), sendo que a dose de boro estimada para a obtenção de máxima produtividade de grãos foi de 4,9 kg $ha^{-1}$, sendo a produtividade 17% superior ao tratamento controle (sem aplicação de boro). Entretanto, com a aplicação da maior dose de boro (12 kg $ha^{-1}$) houve redução na produtividade da cultura, devido à toxidez desse elemento, sendo que, com a aplicação desta dose, verificou-se 25% e 13% menor produtividade, comparado à dose estimada de máxima produtividade e ao tratamento controle, respectivamente.

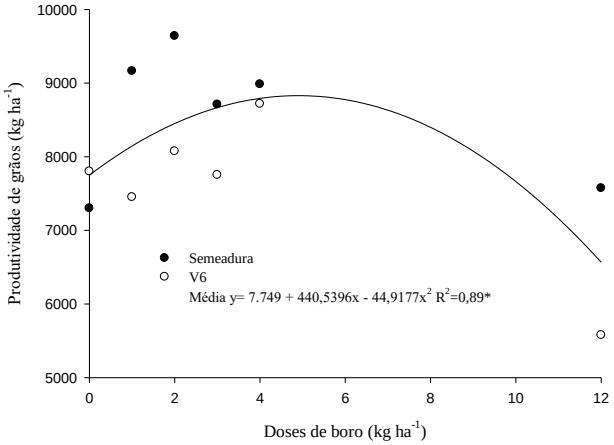



Figura 3. Produtividade de grãos de milho em função da aplicação de doses de boro na semeadura e no estádio V6, na safra 2009/10, no município de Ipiranga, região dos Campos Gerais do Paraná.

Além disso, a aplicação de boro no estádio V6 reduziu o tamanho das espigas (Tabela 2). Em relação ao efeito das doses de boro para essa variável, a mesma se ajustou por regressão à função polinomial de segundo grau, sendo que o maior tamanho das espigas foi obtido com dose próxima a 4,1 kg $ha^{-1}$ (Figura 4a). Fancelli e Dourado-Neto (1999) destacaram que o tamanho da espiga atua indiretamente para o aumento do peso dos grãos, e, consequentemente na produtividade da cultura. Lopes *et al.* (2007) verificaram que os efeitos do comprimento da espiga sobre o peso de grãos por espiga ocorrem indiretamente através do peso de 100 grãos e do número de grãos por espiga.

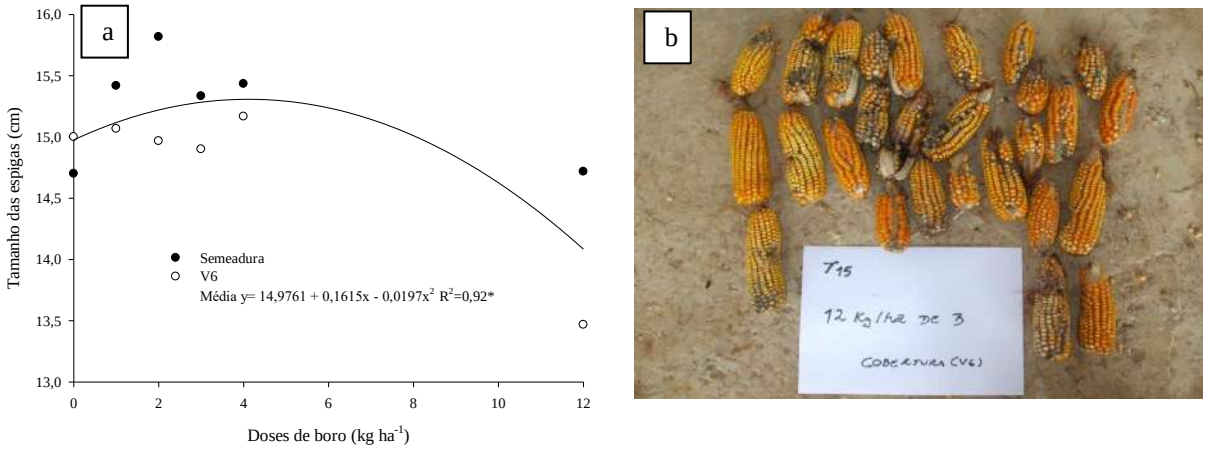



Figura 4. Tamanho das espigas (a) e espigas de milho submetidas a aplicação de 12 kg $ha^{-1}$ de boro no estádio V6 (b), na segunda safra, no município de Ipiranga, região dos Campos Gerais do Paraná. $^{ns}$ não significativo

A toxidez de boro, causada pela aplicação da maior dose em V6, refletiu diretamente no tamanho das espigas (Tabela 2, Figura 4) e na produtividade de grãos (Tabela 2, Figura 3), que ficou abaixo da média do estado, que foi de 7.680 kg $ha^{-1}$ nessa mesma safra (Conab, 2018), além de causar deformação nas espigas, com falha na granação (Figura 4b). Embora menos comum que a deficiência, a toxidez de boro tem sido relatada. Logo, para o crescimento ideal das plantas, a recomendação de adubação com boro não pode ser indiscriminada, uma vez que a faixa de deficiência e toxicidade é muita estreita (Matula, 2009). Nesta safra, as chuvas foram muito acima da safra anterior e da média

histórica (Figura 2). Provavelmente com o deslocamento do boro aplicado em superfície para próximo das raízes nas fases V6 e posteriores, quando o sistema radicular já estava ocupando o solo amplamente (Ritchie *et al.*, 2003), a absorção do nutriente foi intensa devido a capacidade limitada da planta em controlar a absorção (Epstein e Bloom, 2006), o que ocasionou a toxidez. Estes efeitos indicam que tanto a falta quanto o excesso de boro afetam a produtividade do milho e que estes efeitos, além do solo, estão estreitamente relacionados com o volume de chuvas em cada fase do ciclo da cultura. Está evidente que a capacidade do boro em proporcionar toxidez na planta do milho está relacionada com o tempo entre a aplicação e o florescimento do milho e com o volume de precipitação pluviométrica neste mesmo período.

Singh *et al.* (1990) verificaram redução no rendimento de matéria seca do trigo com aplicação de doses crescentes de boro na semeadura, sendo a máxima redução com aplicação da maior dose (10 mg $kg^{-1}$, equivalente a 20 kg $ha^{-1}$). Fageria (2000), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, em casa de vegetação, observou máxima produtividade de milho com a aplicação de 4,7 mg $kg^{-1}$ de boro (9,4 kg $ha^{-1}$), enquanto a aplicação de 8,7 mg $kg^{-1}$ (17,4 kg $ha^{-1}$) resultou em toxidez.

Em relação ao solo, verificou-se interação dos fatores testados, para ambas as camadas analisadas. A aplicação de 4 e 12 kg $ha^{-1}$ no estádio V6 resultou em maior teor de boro nas camadas 0-20 e 20-40 cm (Tabela 3). Na safra 2009/10 em que o teor de boro no solo foi avaliado, a precipitação foi muito superior à média da região (Figura 2), o que justifica o menor teor deste nutriente quando aplicado na semeadura. O boro permanece no solo na forma aniônica $H_3BO_4^-$ sendo facilmente lixiviado para camadas mais profundas em caso de elevadas precipitações. Esta mobilidade de boro no solo também foi observada por Jamani *et al.* (2006) e Oliveira Neto *et al.* (2009).

Tabela 3. Teor de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo, na camada 0-20 cm e 20-40 cm, em função da época de aplicação e doses de boro, na safra 2009/10.

| **Época** | **Boro no solo (0-20 cm) mg $dm^{-3}$** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Doses de boro (kg $ha^{-1}$)** | | | | | | |
| | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **12** | **Média** |
| Semeadura | 0,250 $^{ns}$ | 0,170 $^{ns}$ | 0,250 $^{ns}$ | 0,270 $^{ns}$ | 0,190 b $^{(1)}$ | 0,283 b | 0,236 b |
| V6 | 0,143 | 0,310 | 0,303 | 0,400 | 0,510 a | 0,893 a | 0,427 a |
| | **Boro no solo (20-40 cm ) mg $dm^{-3}$** | | | | | | |
| Semeadura | 0,203 $^{ns}$ | 0,190 $^{ns}$ | 0,283 $^{ns}$ | 0,260 $^{ns}$ | 0,133 b $^{(1)}$ | 0,313 b | 0,231 b |
| V6 | 0,133 | 0,223 | 0,237 | 0,297 | 0,550 a | 0,887 a | 0,388 a |

$^{(1)}$Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. $^{ns}$ não significativo.

O maior teor de boro observado no solo (0,9 mg $dm^{-3}$), com aplicação de 12 kg $ha^{-1}$, e no qual houve toxidez para o milho, está acima do considerado alto (0,6 mg $dm^{-3}$) (Nepar, 2019). Observa-se que quando os teores médios de boro no solo variaram entre 0,22 e 0,38 mg $dm^{-3}$, a produtividade o milho foi maior, sendo que teores de até 0,55 mg $dm^{-3}$, tanto na camada do solo de 0-20 cm quanto de 20- 40 cm, não limitaram a produtividade. Estes valores foram observados nos tratamentos com aplicação entre 1 e 4 kg $ha^{-1}$ de boro (Tabela 3 e Tabela 4). Portanto, a redução da produtividade ocorreu quando o teor de boro no solo superou em 2,3 vezes o teor relacionado às maiores produtividades.

## 4. CONCLUSÕES

A aplicação de doses de boro entre 4 a 5 $kg^{-1}$ aumentou a produtividade do milho, enquanto doses elevadas do nutriente aplicadas no estádio próximo ao florescimento (V6) do milho pode reduzir a produtividade de grãos devido à toxidez.

Níveis de boro no solo 0,22 e 0,38 mg $dm^{-3}$ são mais adequados ao cultivo do milho.

## 5. REFERENCIAS

Abreu, C.A., Lopes, A.S., Santos, G.C.G., 2006. "Micronutrientes". *Fertilidade do Solo.*Viçosa: SBCS, 1° edição.

Bataglia, O.C., 1983. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas.

Bergamaschi, H., Dalmago, G.A., Bergonci, J.I., Bianchi, C.A.M., Müller, A.G., Comiran, F., Heckler, B.M.M., 2004. "Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol. 39, p. 831-839.

Blevins, D.G., Lukaszewski, K.M., 1998. "Boron in plant structure and function". *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, Vol. 49, p. 481-500.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento, 2019. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*, Vol.6, p.1-45.

Debnath, P., Ghosh, S.K., 2014. "Assessment of critical limit of available boron for pea in acidic Alfisols of East Sikkim, India". *Legume Research*, Vol. 37, p.508-514.

Dechen, A.R., Nachtigallm G.R., Carmello, Q.A.C., Santos, L.A., Sperandio, M.V.L, 2018. "Nutrição Mineral de Plantas." In: *Micronutrientes*. Viçosa: SBCS, 2° edição.

Dell, B., Huang , L., 1997. "Physiological response of plants to low boron". *Plant and Soil*, Vol. 193, p.103–120.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa: Brasília: Embrapa, 5º edição.

Epstein, E., Bloom, A.J., 2006.*Nutrição Mineral de Plantas*. Londrina: Editora Planta, 1º edição.

Fageria, N.K., Baligar, V.C., Clark, R.B., 2002. "Micronutrients in Crop Production". *Advances in Agronomy*, Vol. 77, p. 185-268.

Fageria, N.K., 2000. "Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 4, p. 57-62.

Fancelli, AlL., Dourado-Neto, D., 1999. *Tecnologia da produção de milho.* Piracicaba: Fealq/Esalq/USP. 1°edição.

Jamani, N., Büll, L.T., Corrêa, J.C., Rodrigues, J.D., 2006. "Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo". *Acta Scientiarum Agronomy*, Vol. 28, p. 99-105.

Joshi, C., Srivastava, P.C., Pachauri, S.P., Shukla, A.K., 2014. "Evaluation of different soil extractants for assessing B availability to maize (*Zea mays* L.)". *Spanish Journal of Soil Science*, Vol. 4, p.254-264.

Iapar - Instituto Agronômico do Paraná, 2010. 05 set. 2019 <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo>.

Kumar, A., Denre, M., Prasad, R., 2018. "Critical limit of boron for maize (*Zea mays* L.) in red and lateritic soil of Jharkhand, India". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 49, p. 2802-2813.

Lopes, S.J., Lúcio, A.D., Storck, L., Damo, H.P., Brum, B., Santos, V.J., (2007). "Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos."*Ciência Rural*, Vol. 37, p.1536-1542.

Matula, J., 2009. "Boron sorption in soils and its extractability by soil tests (Mehlich 3, ammonium acetate and water extraction)". *Plant, Soil and Environment*, Vol. 55, p.42-49.

Nepar - Núcleo Estadual Paraná, 2019. *Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná*. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2º edição.

Oliveira Neto, W., Muniz, A.S., Silva, M.A.G., Castro, C., Borkert, C.M., 2009. "Boron extraction and vertical mobility in Paraná State oxisol, Brazil". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Vol. 33, p.1259-1267.

Rawashdeh, H.M., Sala, F., 2013. "The effect of foliar application of iron and boron on early growth parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.)". *Research Journal of Agricultural Science*, Vol. 45, p. 21-27.

Ritchie, S.W., Hanway, J.J., Benson, G.O., 2003. "Como a planta de milho se desenvolve". *Informações Agronômicas*, nº103, p. 1-20.

Singh, J.P., Dahiya, D.J., Narwal, R.P., 1990. "Boron uptake and toxicity in wheat in relation to zinc supply". *Fertilizer Research*, Vol. 24, p. 105-110.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE BIOPRODUÇÃO DE FRUTOSILTRANSFERASE E B-FRUTOFURANOSIDASE POR *ASPERGILLUS NIGER* ATCC 9642 EM CULTIVO SUBMERSO

**Leonardo Meirelles da Silva***
**Simone Salete Saggiorato Dal Maso**
**Marília Dequi Vendruscolo**
**Thais Comin**
**Gabriela de Bastos**
**Rosicler Colet**
**Rogério Marcos Dal Lago**
**Jamile Zeni**
**Geciane Toniazzo Backes**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, Av. Sete de Setembro, 1621 – Erechim, RS – Brasil.
*leonardomeirelesdasilva@gmail.com
simone.dalmaso98@gmail.com
maajordanaa@gmail.com
th-thais@hotmail.com
gabrieladebastos@outlook.com
rosicler.colet@yahoo.com.br
dallago@uricer.edu.br
jamilezeni@uricer.edu.br
gtoniazzo@uricer.edu.br

***Resumo:*** *As invertases são carboidrases estudadas em enzimologia e podem participar de reações químicas sendo catalisadores. Assim, existem duas classes de invertases que são particularmente úteis para a produção de frutooligossacarídeos, as frutosiltransferases e β-frutofuranosidades, que possuem grande importância industrial, inclusive para a produção de etanol. Fungos filamentosos como Aspergillus e Penicillium são micro-organismos com grandes potenciais de produção das enzimas β-frutofuranosidases (FFase) e as frutosiltransferases (FTase). Portanto, analisaram-se as melhores condições de bioprodução de frutofuranosidase e frutosiltransferase a partir de Aspergillus niger ATCC 9642 empregando fermentação submersa para os parâmetros de pH do meio (4,5; 5,5 e 6,5), temperatura (25, 30 e 35°C) e concentração de esporos (de $5x10^4$ à $5x10^8$ esporos/mL) em diferentes tempos de bioprodução. Os resultados identificam que a concentração de esporos que maximiza a atividade da FFase e FTase é equivalente à $5x10^7$ esporos/mL, sob um tempo de bioprodução de 48 horas. Além disso, o melhor pH é entre 5,5 e 6,5, não havendo diferença estatística entre ambos e a melhor temperatura para bioprodução é de 25°C.*

***Palavras-chave:*** *carboidrases, frutosiltransferases, frutofuranosidases, Aspergillus niger*

## 1. INTRODUÇÃO

As invertases foram uma das primeiras carboidrases a serem estudadas na história da enzimologia. Em 1928 foi identificada pela primeira vez sua atividade, observando que a levedura de panificação fermentava a sacarose em meio aquoso. A partir desse momento, muitos experimentos foram realizados sobre a invertase, favorecendo assim, seu uso como enzima modelo para estudos de catálise enzimática (Vitolo *et al*., 2001; Cabral, 2012).

Duas classes de enzimas são particularmente úteis para a produção de FOS em escala industrial: frutosiltransferases (EC 2.4.1.9) e β-frutofuranosidases (EC 3.2.1.26), também chamadas de invertases (Antošová & Polakovič, 2001; Ghazi *et al*., 2007). Essas enzimas possuem grande importância industrial, como a produção de FOS e fabricação de colutórios para higiene bucal (Uma et al., 2010), também são utilizadas para a hidrólise de açúcares como rafinose, gentianose e inulina (Rubio *et al*., 2002), nas indústrias sucroalcooleiras, podem ser utilizadas para remoção da sacarose de resíduos líquidos, como melaço de cana de açúcar ou beterraba, evitando assim a cristalização do açúcar, além de participarem da produção do etanol (Vitolo *et al*., 2001). A FTase e FFase geralmente provém de vários micro-organismos, incluindo os fungos *Aspergillus niger, Aspergillus japonicus* e *Aureobasidium pullulans* (Hidaka *et al*., 1988; Ghazi *et al*., 2007; Kurakake *et al*., 2010; Zhang *et al*., 2017).

Aspectos importantes na fermentação submersa para a produção das enzimas devem ser estabelecidos para cada cepa, por exemplo, altos teores de sacarose na cultura são preferidos por esses micro-organismos, além de agitação, pH, temperatura e outros nutrientes e requisitos nutricionais, como alguns minerais no meio de cultura, são necessários para a síntese de FOS (Won, 1996; Muñiz-Márquez *et al*., 2018).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes concentrações de esporos, pH do meio e temperatura na bioprodução de frutofuranosidase (FFase) e frutosiltransferase (FTase) por *Aspergillus niger* ATCC 9642 em inoculação por meio de cultivo submerso.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Micro-organismos

O fungo filamentoso *Aspergillus niger* ATCC 9642 utilizado é procedente do banco de cepas do Laboratório de Biotecnologia de Alimentos da URI Campus Erechim-RS.

### 2.2 Avaliação da concentração de esporos

A fim de verificar a influência da concentração de esporos na bioprodução da FTase e FFase foram realizados ensaios com variação da quantidade de esporos ($5x10^4$, $5x10^5$, $5x10^6$, $5x10^7$ e $5x10^8$ esporos/mL) no meio de cultivo em função do tempo (0, 24, 48, 72 e 96 horas). Nesta etapa empregou-se o *A. niger* em meio de produção composto por 20 % sacarose, 0,5 % extrato de levedura, $NaNO_3$ 1 %, $MgSO_4$ .$7H_2O$ 0,05 %, $KH_2PO_4$ 0,25 %, $NH_4Cl$ 0,5 %, NaCl 0,25 % a pH 5,5 e acrescido de 0,5 mL de esporos, na concentração desejada, em 50 mL de meio. O pH inicial de todos os ensaios foi ajustado a 5,5 com adição de soluções NaOH 0,5 M e HCl 0,5 M. As condições de cultivo foram de 30ºC, 150 rpm e 48 h de bioprodução. Destaca-se que estudos prévios referentes ao meio de bioprodução foram realizados.

### 2.3 Avaliação da influência do pH do meio

Para avaliar a influência do pH no meio de produção utilizou-se o meio descrito no item 2.2, variando o pH em 4,5; 5,5 e 6,5; tendo como referência pesquisas realizadas por Ganaie et al. (2013), Ganaie et al. (2017) e Hernalsteens et al. (2008). Mantendo-se fixa a temperatura de 30 °C, 150 rpm de agitação, $5x10^7$ esporos/mL e 48 h de produção. O pH do meio foi ajustado com solução de NaOH 0,5M e/ou HCl 0,5M.

### 2.4 Avaliação da influência da temperatura na bioprodução

Ao analisar a influência da temperatura na bioprodução de FTase e FFase realizaram-se ensaios a 25, 30 e 35°C (Ganaie *et al*., 2013; Ganaie *et al*., 2017; Hernalsteens *et al*., 2008) utilizando-se o meio descrito no item 2.2, concentração de esporos em 5 x $10^7$ esporos/mL, agitação em 150 rpm, pH de 5,5 e 48 h de produção.

### 2.5 Determinação da atividade enzimática

Para a determinação da atividade enzimática da FTase FFase, inicialmente adicionou-se 4,5 mL de substrato (solução de sacarose 60 % em tampão de acetato de potássio 0,05 M a pH 4,5), em tubos ensaio, posteriormente 0,5 mL do extrato enzimático bruto foi adicionado e incubou-se a 60ºC por 30 min banho incubador (Nova Ética) a 125 rpm. Um controle reacional foi realizado nas mesmas condições, porém sem sacarose. Após o tempo determinado, alíquotas de 10µL do meio reacional foram retiradas para determinar a concentração de glicose empregando o Kit enzimático glicose-oxidase (Glicose WS, Kovalent) e 2 mL para quantificar açúcares redutores pelo Método Somogyi-Nelson (Nelson, 1944; Somogyi, 1945).

O cálculo de atividade enzimática baseia-se, inicialmente, na reação de hidrólise da sacarose, formando glicose e frutose que pode ser descrita na Equação (1).

$$AR = G + F \quad (1)$$

Onde AR: açúcares redutores/sacarose; G:glicose; F: frutose.

A enzima denominada β-frutofuranosidase (FFase) fornece a atividade conhecida como UF (unidade de frutofuranosidase), representando a quantidade de sacarose hidrolisada por unidade de tempo e volume, sendo expressão em µmol/min.mL (Hernalteens *et al*., 2008).

Para se ter o valor de UF (unidade atividade de frutofuranosidase) deve-se determinar a quantidade de glicose presente no meio reacional, visto que a glicose é um dos produtos da hidrólise da sacarose. Portanto, tem-se que a atividade de frutofuranosidase (FFase) é determinada segundo a Equação (2).

$$UF = G \quad (2)$$

A enzima chamada frutosiltransferase (FTase) é descrita por UTF (unidade de atividade de frutosiltransferase), que representa a quantidade de frutose transferida por unidade de tempo e volume, sendo expressa em µmol/min.mL.

Por meio da Equação 1, tem-se que a frutose presente no meio reacional é definida conforme Equação (3):

$$F_{meio} = AR - G \quad (3)$$

Já a frutose transferida é a diferença entre a glicose e a frutose do meio, Equação (4):

$$F_t = G - F_{meio} \quad (4)$$

Ao unir as Equações 3 e 4, tem-se a equação final que representa a quantidade de frutose transferida, equivalendo com a atividade de transfrutosilação (Equação (5)).

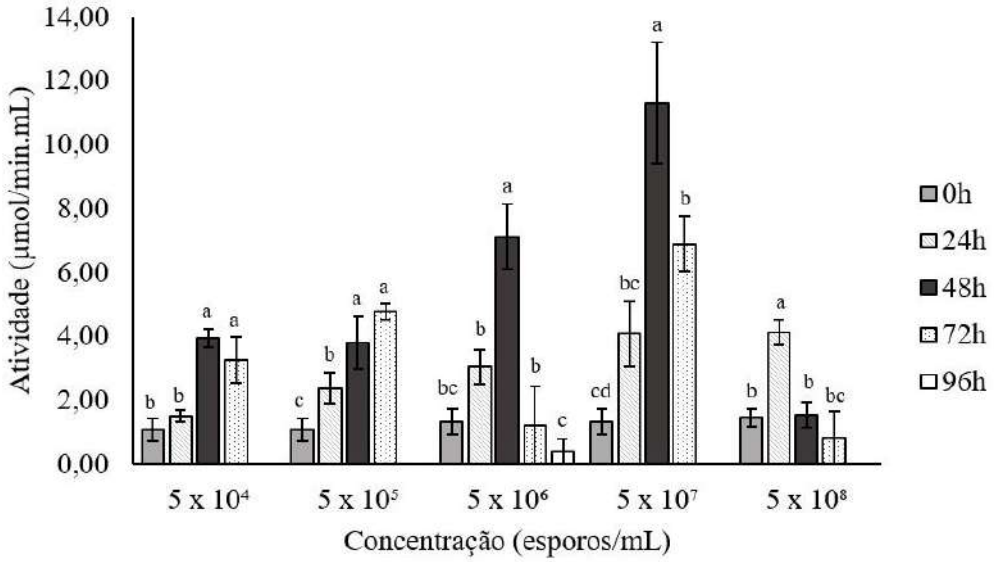
$$UTF = 2G - AR \quad (5)$$

Onde 2G indica a quantidade teórica de açúcar redutor e AR a quantidade real de açúcar redutor presente no meio, determinada pelo método de Somogyi-Nelson, de modo que a diferença entre ambos indica a frutose que foi transferida.

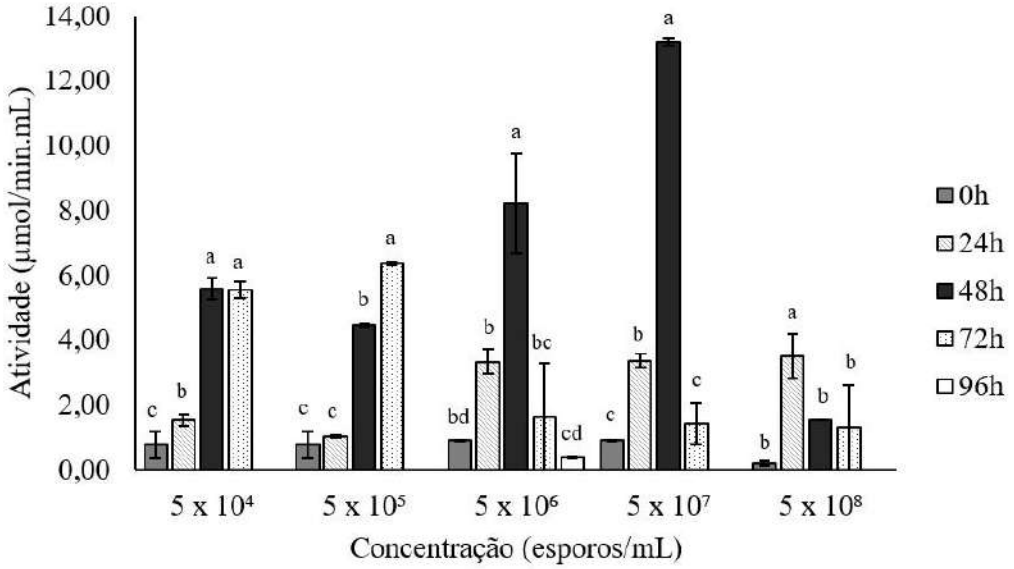
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Avaliação da concentração de esporos

Analisou-se a concentração da solução de esporos de $5x10^4$ a $5x10^8$ esporos/mL em diferentes tempos de bioprodução para o fungo filamentoso *A. niger* ATCC 9642 onde as Figuras 1 (a) e 1 (b) são referentes a produção de FFase e FTase, respectivamente, permitindo observar que a maior atividade de FTase, 11 µmol/min.mL, e de FFase, 10 µmol/min.mL, foi obtida na concentração de esporos $5x10^7$ esporos/mL. Desta forma, definiu-se a concentração de esporos em $5x10^7$ esporos/mL de *A. niger* ATCC 9642 e 48 h para a bioprodução das enzimas.




(a)




(b)

Figura 1. Produção de FFase (a) e FTase (b) em função da concentração de esporos do fungo *A. niger* ATCC 9642.

Ganaie et al. (2017), avaliou a concentração de esporos na produção de β-frutofuranosidase a partir do fungo filamentoso *Aspergillus flavus*, e obteve as melhores atividades com concentrações de esporos na faixa de $1x10^6$ a $1x10^8$ esporos/mL, sendo similar aos resultados encontrados no presente estudo. Segundo este autor, ao trabalhar com uma concentração elevada de esporos, ocorre uma competição entre as células microbianas, ocasionando a escassez de nutrientes no meio, ocasionando uma queda de atividade enzimática.

### 3.2 Influência do pH do meio

A Figura 2 apresenta os resultados de produção de FTase e FFase em meio descrito no item 2.2, com $5x10^7$ esporos/mL, 30 °C, 150rpm e 48 horas e com diferentes pHs (4,5; 5,5 e 6,5), onde observa-se que as maiores atividades de FTase foram de 4,53 e 3,64 µmol/min.mL e de FFase de 5,62 e 6,67 µmol/min.mL em pH 5,5 e 6,5, respectivamente, não havendo diferença estatística entre estes. A partir destes resultados, definiu-se, para as etapas posteriores do trabalho, o pH de produção igual a 5,5.

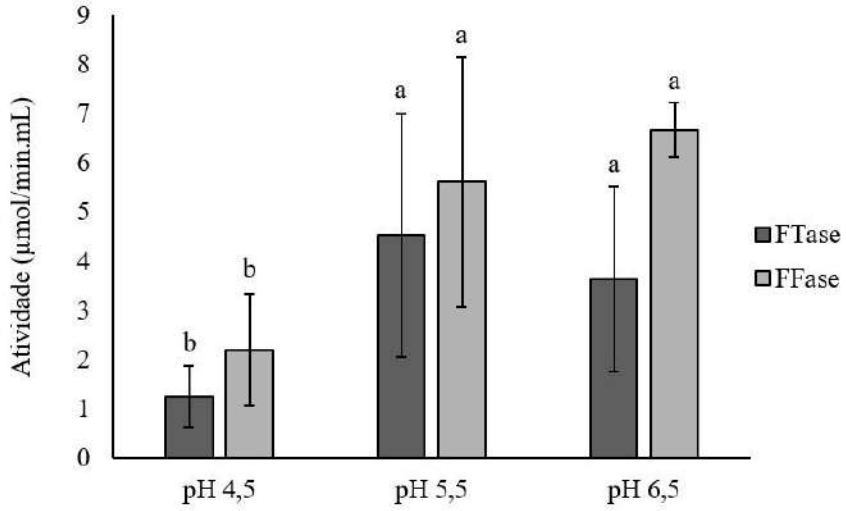



Figura 2. Produção de FTase e FFase em função do pH do meio de cultivo do fungo *A. niger* ATCC 9642.

### 3.3 Influência da temperatura de bioprodução

A Figura 3 apresenta os resultados da influência da temperatura de bioprodução de FTase e FFase, onde observa-se que a maior produção de FTase (8,79 µmol/min.mL) e FFase (9,32 µmol/min.mL) foi a 25 °C, diferindo estatisticamente das demais temperaturas estudadas ($p<0,05$). A temperatura de 25ºC foi fixada para os próximos ensaios deste estudo.

Nascimento et al. (2016), ao produzir FFase com *Penicillium citreonigrum* em frascos agitados obtiveram a maximização da produção em pH 6,5, a 25,5°C em 67,8 horas, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

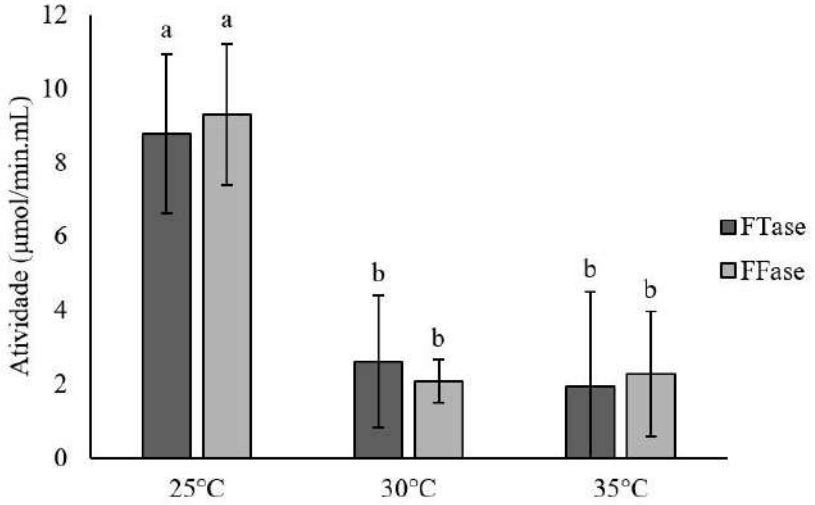



Figura 3. Produção de FTase e FFase em função da temperatura de incubação do fungo *A. niger* ATCC 9642.

## 4. CONCLUSÃO

A produção de frutofuranosidase e frutosiltransferase tem grande interesse biotecnológico pois tais enzimas podem ser aplicadas industrialmente em inúmeras operações, inclusive na fabricação de etanol. Dessa forma, avaliar as melhores condições na qual a bioprodução de FFase e FTase permitem fixar parâmetros importantes como a temperatura e o pH do meio de produção, além da concentração de esporos e do tempo que maximiza a síntese de ambas as enzimas. Os experimentos realizados mostraram que a melhor temperatura de produção é 25°C, o melhor pH do meio situa-se entre 5,5 e 6,5, não havendo diferença estatística entre ambos e a melhor concentração de esporos como sendo $5x10^7$ esporos/mL, sob um tempo de bioprodução de 48 horas.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a URI – Campus Erechim, CAPES, FAPERGS e CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS

Antošová, M.; Polakovič, M. Fructosyltransferases : The Enzymes Catalyzing production of fructooligosacharides. Chemical Papers – Chemicke Zvesti, v. 55, p. 350–358, 2001.

Cabral, B. V. Hidrólise de sacarose por invertase Imobilizada em Duolite A-568 por adsorção e Ligação Cruzada. 2012. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

Ganaie, M. A.; Gupta, U. S.; Kango, N. Screening of biocatalysts for transformation of sucrose to fructooligosaccharides. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, v.97, p. 12–17, 2013.

Ganaie, M. A. et al Screening of low cost agricultural wastes to maximize the fructosyltransferase production and its applicability in generation of fructooligosaccharides by solid state fermentation. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 118, p. 19 - 26, 2017.

Ghazi, I. et al. Purification and kinetic characterization of a fructosyltransferase from *Aspergillus aculeatus*. Journal of Biotechnology, v. 128, p. 204–211, 2007.

Hernalsteens, S.; Maugeri, F. Purification and characterization of a fructosyltransferase from *Rhodotorula* sp. Applied Microbiology Biotechnology, v.79, p.589-596, 2008.

Hidaka, H.; Hirayama, M.; Sumi, N. A fructooligosaccharide-producing enzyme from *Aspergillus niger* ATCC 20611. Agricultural and Biological Chemistry, v. 52, p. 1181–1187, 1988.

Kurakake, M. et al. Production of fructooligosaccharides by β-fructofuranosidases from *Aspergillus oryzae* KB. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 58, p. 488–492, 2010.

Muñiz-Márquez, D. B. M. et al. Fructo-oligosaccharides (FOS) production by fungal submerged culture using aguamiel as a low-cost by-product. Food Science and Technology, v. 102, p. 75–79, 2018.

Nascimento, A. K. C. et al. Síntese de Frutoologossacarídeos a partir da β-Frutofuranosidase obtida de *Penicillium citreonigrum* URM 4459. Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), Fortaleza, 2016. Disponível em https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/sintese-de-frutooligossacarideos-a-partir-da-%CE%B2-frutofuranosidase-obtida-de-penicillium-citreonigrum-urm-4459. Acesso: 23 mar. de 2019.

Nelson, D. L.; Cox, M. M. Enzimas. In: Princípios da Bioquímica de Lehninger: princípios de bioquímica. 4. ed. São Paulo: Sarvier. 2005, v. 8, p. 189-224, 2005.

Rubio, M. C.; Runco, R.; Navarro, A. R. Invertase from a strain of *Rhodotorula glutinis*. Phytochemstry, v. 61, p.605-609, 2002.

Somogyi, M. A. A new reagente for the determination of sugar. Journal of Biological and Chemical, v. 160, p. 61-68, 1945.

Uma, C.; Gomathi, D.; Muthulakshmi, C.; Gopalakrishnan, V. Production purification and characterization of invertase by *Aspergillus flavus* using fruit peel waste as substrate. Advances in Biological Research, v.4, n.1, p. 31-36, 2010.

Vitolo, M. Aplicações de enzimas na Tecnologia de Alimentos. In: AQUARE, E. et al. Biotecnologia Industrial: biotecnologia na produção de alimentos. 1. Ed., São Paulo, Edgard Blücher Ltda, v. 4, cap. 14, p. 387-418, 2001.

Won, J.. Fructooligosaccharides-Occurrence, preparation and application. Enzyme and Microbiology Technology, v. 0229, p. 107–117, 1996.

Zhang, J. et al. Enhancing fructooligosaccharides production by genetic improvement of the industrial fungus *Aspergillus niger* ATCC 20611. Journal of Biotechnology., v. 249, p. 25–33, 2017.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DA ESTABILIDADE DE INVERTASES PRODUZIDAS POR *ASPERGILLUS NIGER* ATCC 9642 EM CULTIVO SUBMERSO

**Leonardo Meirelles da Silva***
**Simone Salete Saggiorato Dal Maso**
**Marília Dequi Vendruscolo**
**Thais Comin**
**Gabriela de Bastos**
**Rosicler Colet**
**Rogério Marcos Dal Lago**
**Jamile Zeni**
**Geciane Toniazzo Backes**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, Av. Sete de Setembro, 1621 – Erechim, RS – Brasil.
*leonardomeirelesdasilva@gmail.com
simone.dalmaso98@gmail.com
maajordanaa@gmail.com
th-thais@hotmail.com
gabrieladebastos@outlook.com
rosicler.colet@yahoo.com.br
dallago@uricer.edu.br
jamilezeni@uricer.edu.br
gtoniazzo@uricer.edu.br

***Resumo:*** *As enzimas de frutosiltransferase e β-frutofuranosidase são invertases e foram uma das primeiras carboidrases a serem estudadas na história da enzimologia. O emprego do cultivo submerso para a produção das enzimas é mais frequente industrialmente pois apresenta vantagens como o baixo custo com alta produtividade, o controle dos parâmetros fermentativos e a possibilidade de agitação. A estabilidade térmica das enzimas demonstra que a β-frutofuranosidade (FFase) é mais estável que a frutosiltransferase (FTase) que apresenta queda de 50% da atividade inicial a partir da temperatura de incubação de 30°C. Com relação à estabilidade em diferentes pHs, observa-se que tanto a FFase quanto a FTase apresentam o mesmo comportamento, com melhor estabilidade em pH 2,0 e uma queda a partir do pH 4,5. A estabilidade de estocagem foi avaliada nas condições de temperatura ambiente (± 25°C), de refrigerador (4°C) e congelamento (-80°C). O estudo permitiu identificar que a condição de melhor armazenamento é sob a temperatura de congelamento onde a atividade residual de ambas as enzimas se manteve acima de 50% da atividade inicial em um período de 264 horas (11 dias) de estocagem.*

***Palavras-chave:*** *frutosiltransferase, β-frutofuranosidase, termoestabilidade, cultivo submerso.*

## 1. INTRODUÇÃO

As enzimas de frutosiltransferase e β-frutofuranosidase são invertases e foram uma das primeiras carboidrases a serem estudadas na história da enzimologia. Em 1928 foi identificada pela primeira vez sua atividade, observando que a levedura de panificação fermentava a sacarose em meio aquoso. A partir desse momento, muitos experimentos foram realizados sobre a invertase, favorecendo assim, seu uso como enzima modelo para estudos de catálise enzimática (Vitolo *et al*., 2001; Cabral, 2012).

A fermentação submersa é o tipo de fermentação mais utilizado nas indústrias para a produção de enzimas. Cerca de 90% de todas as enzimas industriais são produzidas por FSbm (Dominguez *et al*., 2014; NADEEM *et al*., 2015). Neste processo o microrganismo cresce de forma livre e em suspensão em um meio de cultivo líquido no qual estão presentes, de forma dissolvida ou suspensa, todos os sais e nutrientes necessários para o seu desenvolvimento (Gonçalves, 2013; Gonçalves *et al*, 2015). Como vantagens da FSbm podem ser citados o baixo custo com alta produtividade por volume de reator, o controle dos parâmetros fermentativos, a possibilidade de agitação, o que pode aumentar a produção das enzimas. As desvantagens estão relacionadas com alto custo para manter a agitação do meio e possível formação de espuma (Dominguez *et al*., 2014).

Os fungos utilizados para produção microbiana em larga escala das enzimas frutosiltransferases (FTases) e β-frutofuranosidases (FFases) são do gênero *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Aerobasidium* sp., *Penicllum* sp. e *Arthrobacter* sp. (Muñiz-Marquéz *et al*., 2018).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade em relação à diferentes temperaturas, pHs e condições de estocagem das enzimas de β-frutofuranosidase (FFase) e frutosiltransferase (FTase) bioproduzidas por *Aspergillus niger* ATCC 9642 em inoculação por meio de fermentação submersa.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Micro-organismos

O fungo filamentoso *Aspergillus niger* ATCC 9642 utilizado é procedente do banco de cepas do Laboratório de Biotecnologia de Alimentos da URI Campus Erechim-RS.

### 2.2 Estabilidade térmica

A estabilidade térmica do extrato enzimático foi realizada incubando-se o mesmo por 1 hora, com pH ajustado para 2,39 com HCl 0,1 M, em estufa (Quimis, Modelo Q819V2) nas temperaturas de 30, 45, 60, 75, 80 e 100 °C. Após o período de incubação foi realizada a determinação da atividade de FTase e FFase nas condições otimizadas de reação (pH 2,39 e temperatura de 60 °C). Os resultados foram expressos em termos de porcentagem residual de atividade enzimática. É importante destacar que foram realizados estudos prévios para a determinação das condições otimizadas da reação para quantificação da atividade.

### 2.3 Estabilidade frente a diferentes pHs

O pH do extrato enzimático foi ajustado com tampão acetato de potássio 0,05 M para os pHs 2; 3; 4,5; 6 e 7, respectivamente. Em seguida, os extratos com pH ajustado foram incubados em estufa a 60 ºC por 1h e realizada determinação da atividade nas condições otimizadas de reação (pH 2,39 e temperatura de 60 °C). Os resultados foram expressos em termos de porcentagem residual de atividade enzimática.

### 2.4 Estabilidade de estocagem

A fim de determinar a temperatura de estocagem do extrato enzimático de FTase e FFase, este foi submetido a temperaturas de -80 °C, 4 °C e ambiente (± 25 °C). A determinação da atividade foi realizada periodicamente nas condições otimizadas de reação (pH 2,39 e temperatura de 60 °C). A estabilidade foi expressa em termos de porcentagem residual da atividade enzimática.

### 2.5 Determinação da atividade enzimática

Para a determinação da atividade enzimática da FTase FFase, inicialmente adicionou-se 4,5 mL de substrato (solução de sacarose 60 % em tampão de acetato de potássio 0,05 M a pH 4,5, em tubos ensaio, posteriormente 0,5 mL do extrato enzimático bruto foi adicionado e incubou-se a 60ºC por 30 min banho incubador (Nova Ética) a 125 rpm. Um controle reacional foi realizado nas mesmas condições, porém sem sacarose. Após o tempo determinado, alíquotas de 10µL do meio reacional foram retiradas para determinar a concentração de glicose empregando o Kit enzimático glicose-oxidase (Glicose WS, Kovalent) e 2 mL para quantificar açúcares redutores pelo Método Somogyi-Nelson (Nelson, 1944; Somogyi, 1945).

O cálculo de atividade enzimática baseia-se, inicialmente, na reação de hidrólise da sacarose, formando glicose e frutose que pode ser descrita na Equação (1).

$$AR = G + F \quad (1)$$

Onde AR: açúcares redutores/sacarose; G:glicose; F: frutose.

A enzima denominada β-frutofuranosidase (FFase) fornece a atividade conhecida como UF (unidade de frutofuranosidase), representando a quantidade de sacarose hidrolisada por unidade de tempo e volume, sendo expressão em µmol/min.mL (Hernalteens *et al*, 2008).

Para se ter o valor de UF (unidade atividade de frutofuranosidase) deve-se determinar a quantidade de glicose presente no meio reacional, visto que a glicose é um dos produtos da hidrólise da sacarose. Portanto, tem-se que a atividade de frutofuranosidase (FFase) é determinada segundo a Equação (2).

$$UF = G \quad (2)$$

A enzima chamada frutosiltransferase (FTase) é descrita por UTF (unidade de atividade de frutosiltransferase), que representa a quantidade de frutose transferida por unidade de tempo e volume, sendo expressa em µmol/min.mL.

Por meio da Equação 1, tem-se que a frutose presente no meio reacional é definida conforme Equação (3):

$$F_{meio} = AR - G \quad (3)$$

Já a frutose transferida é a diferença entre a glicose e a frutose do meio, Equação (4):

$$F_t = G - F_{meio} \quad (4)$$

Ao unir as Equações 3 e 4, tem-se a equação final que representa a quantidade de frutose transferida, equivalendo com a atividade de transfrutosilação (Equação (5)).

$$UTF = 2G - AR \quad (5)$$

Onde 2G indica a quantidade teórica de açúcar redutor e AR a quantidade real de açúcar redutor presente no meio, determinada pelo método de Somogyi-Nelson, de modo que a diferença entre ambos indica a frutose que foi transferida.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Estabilidade térmica

Os resultados da estabilidade térmica para as enzimas FFase e FTase estão apresentados na Figura 1. Verifica-se que a FFase apresenta-se estável nas temperaturas de 45 a 75 °C, com redução aproximadamente de 20 % da atividade residual nas temperaturas de 80 e 100 °C. Já a FTase ao ser incubada nas temperaturas de 30 a 100 ºC apresentou queda em torno de 50 % da atividade enzimática residual quando comparada a atividade inicial (4 ºC). Com estes resultados fica evidente que a FFase apresenta maior estabilidade térmica em relação a FTase.

Segundo Marquez (2007), a estabilidade térmica da invertase pode ser devido à estrutura terciária da proteína, a qual contém interações carboidrato-proteína, com ligações cruzadas na cadeia polipeptídica.

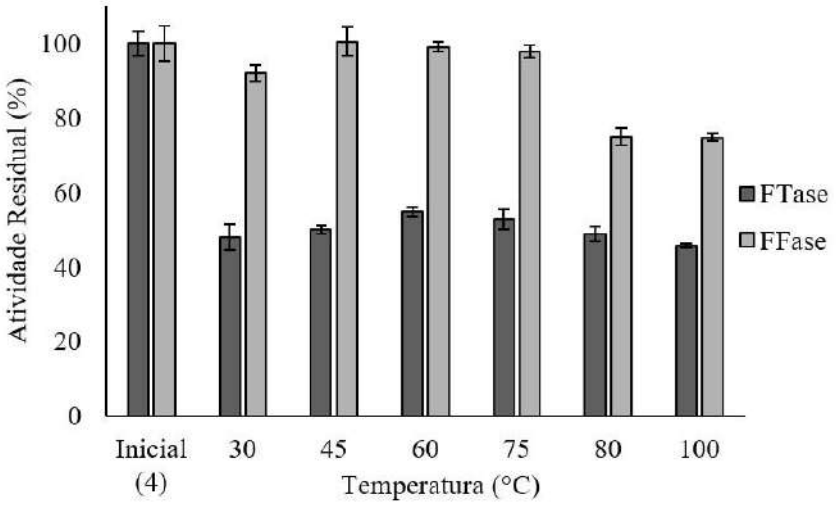



Figura 1. Estabilidade térmica das enzimas FTase e FFase produzidas por *A. niger* ATCC 9642.

### 3.2 Estabilidade frente a diferentes pHs

A estabilidade frente a diferentes pHs demonstrou comportamento semelhante para FTase e FFase (Figura 2). O melhor pH foi 2,00 com atividade residual de 139,39 e 119,33 % para FTase e FFase, respectivamente. Em pH 3 as enzimas mantiveram sua atividade residual. Em pHs 4,5; 6 e 7, observa-se uma queda da atividade residual enzimática de aproximadamente 20 e 40 %para FFase e FTase, respectivamente.

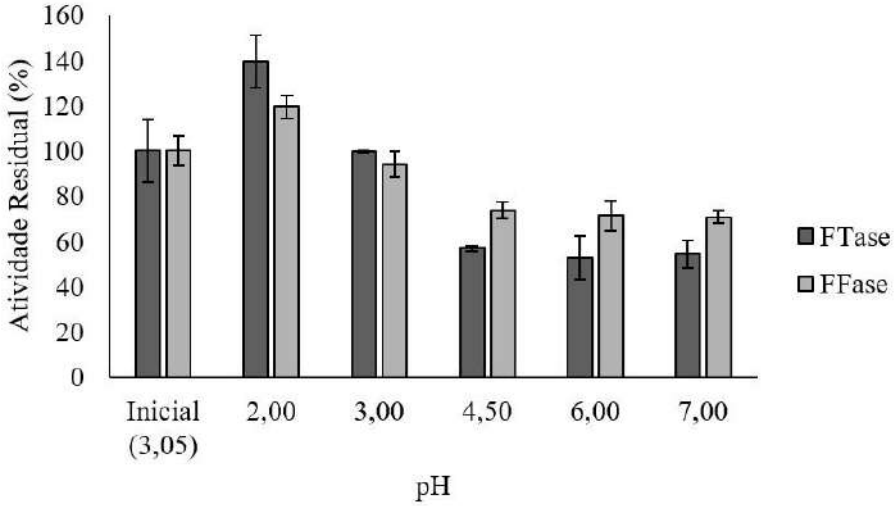



Figura 2. Estabilidade das enzimas FTase e FFase frente a diferentes pHs.

Os resultados encontrados neste estudo diferem dos reportados na literatura. Maiorano et al. (2008) que apontam faixa ótima de pH para a FTase oriunda de *Aspergillus oryzae*, entre 5,0 e 7,0. Ganaie et al. (2014) verificam que a enzima, também produzida por *Aspegillus oryzae*, apresentou valores elevados de atividades de transfrutosilação para uma faixa de pH compreendida entre 5,0 a 7,0, com pico de atividade em pH 6,0. Já alguns trabalhos demonstram um potencial mais ácido, pH entre 4,5 e 6,0, das invertases de *Lactobacillus reuteri* (Anwar *et al*, 2008; Van Hijum *et al*., 2001). Invertases aplicadas industrialmente como a BIOINVERTR - QUEST INTERNATIONAL - apresentaram estabilidade na faixa de pH de 4,0 a 5,0 (Said & Pietro, 2004).

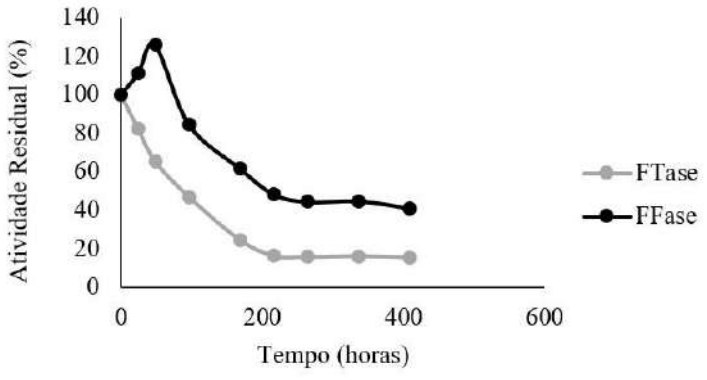
Choukade & Kango (2019), estudaram a caracterização de uma frutosiltransferase micelial de *Aspergillus tamarii* NKRC 1229, e obtiveram atividade ótima em pH 7,0 e 20 °C. Rustiguel et al. (2015) ao estudar a produção de β-D-frutofuranosidase (invertase) por *Aspergillus phoenicis* (*Aspergillus saitoi*) em fermentação submersa observaram temperatura e o pH ótimos para a atividade em 65 °C e 4,5, respectivamente. Almeida et al. (2018) estudaram a produção de 2 invertases intracelulares, onde a invertase 1 apresentou atividade máxima em pH 3,0 e temperatura ótima a 60 °C, enquanto a invertase 2 apresentou atividade máxima em pH 4,6 e temperatura ótima a 55 ºC.

### 3.3 Estabilidade de estocagem

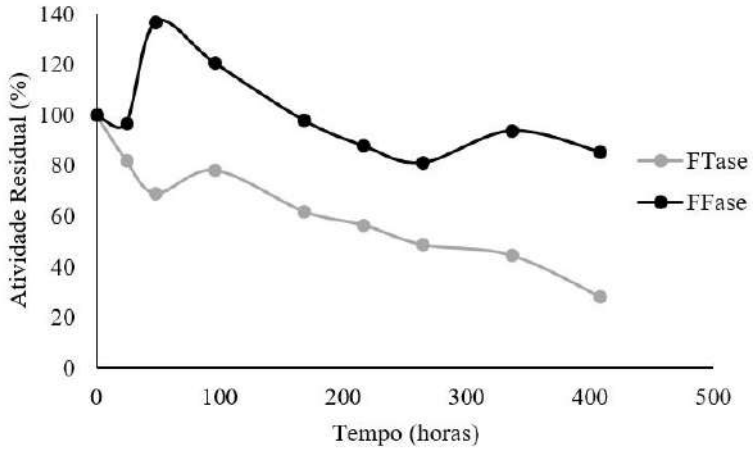
Os resultados da estabilidade de estocagem para FTase e FFase frente a temperatura ambiente, de refrigeração e de congelamento são apresentados nas Figuras 3 (a), (b) e (c), respectivamente. Onde observa-se que em temperatura ambiente (Figura 3(a)), as enzimas FTase e FFase apresentaram redução de 50 % da atividade residual nos tempos de 95 h (4 dias) e 200 h (8 dias), respectivamente.

A estocagem em temperatura de refrigeração (Figura 3(b)), provocou queda de 50 % na atividade residual da FTase em 168 h (7 dias), enquanto que a FFase manteve aproximadamente da 60 % atividade residual durante o mesmo período.

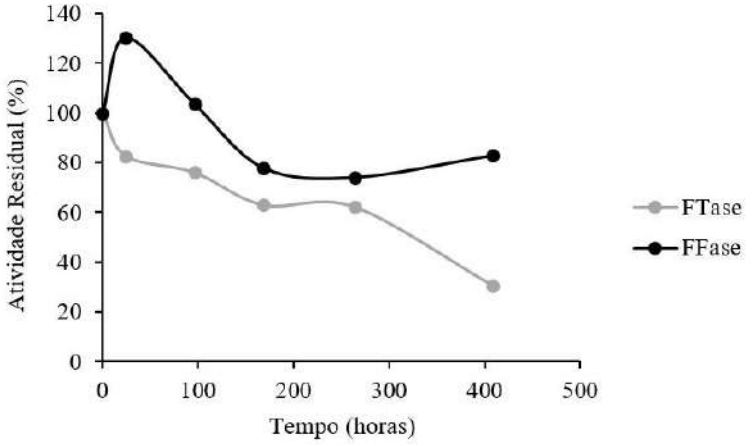
Ao armazenar as enzimas em temperatura de congelamento (Figura 3(c)), verifica-se redução à 62 % na atividade residual de FTase e à 74 % para FFase, em 264 h (11 dias), mostrando-se mais estável em relação a estocagem em temperatura ambiente e de refrigeração.




(a)




(b)




(c)

Figura 3. Estabilidade de estocagem das enzimas FTase e FFase frente a (a) temperatura ambiente (± 25 °C), (b) refrigeração (±4 °C) e (c) temperatura de congelamento (-80 °C).

## 4. CONCLUSÃO

As invertases FFase e FTase são importantes enzimas que podem participar da síntese de frutooligossacarídeos, açúcares que possuem muitas características benéficas, como por exemplo baixas calorias.

Portanto, ao analisar a estabilidade das enzimas pode-se ter uma constatação de como as mesmas se comportam em diferentes condições de temperatura, pH e qual a melhor maneira de estocagem na qual as enzimas são submetidas.

A estabilidade térmica mostrou-se mais eficiente para a FFase do que para a FTase, que apresentou uma grande queda a partir de 30°C. Com relação à submissão do extrato enzimático em diferentes pHs observou-se um comportamento semelhante para ambas as enzimas, com melhor resultado em pH 2,0. Já condição de estocagem com melhores resultados é sob temperatura de congelamento (-80°C) mantendo uma boa atividade residual.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a URI – Campus Erechim, CAPES, FAPERGS e CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS

Almeida, M. N.; Guimarães, V.; Falkoski, D. L.; Camargo, B. R. Purification and characterization of an invertase and a transfructosylase from *Aspergillus terreus*. Journal of Food Biochemistry, v. 42, p. 1-9, 2018. DOI: 10.1111/jfbc.12551

Anwar, M. A.; Kralj, S.; Van Der Maarel, M. J. & Dijkhuizen, L. The probiotic *Lactobacillus johnsonii* NCC 533 produces high-molecular-mass inulin from sucrose by using an inulosucrase enzyme. Applied and Environmental Microbiology, v. 74, p. 3426-3433, 2008. DOI: 10.1128/AEM.00377-08

Cabral, B. V. Hidrólise de sacarose por invertase Imobilizada em Duolite A-568 por adsorção e Ligação Cruzada. 2012. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

Choukade, R.; Kango, N. Characterization of a mycelial fructosyltransferase from *Aspergillus tamarii* NKRC 1229 for efficient synthesis of fructooligosaccharides. Food Chemistry, v. 286, p. 434-440, 2019. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.025

Dominguez, A. L. Rodrigues, L. R.; Lima, N.; Teixeira, J. A. An overview of the recent developments on fructooligosaccharide production and applications. Food and Bioprocess Technology, v. 7, p. 324-337, 2014. DOI: 10.1007/s11947-013-1221-6

Ganaie, M. A.; Rawat, H. K.; Wani, O. A.; Gupta, U. S.; Kango, N. Immobilization of fructosyltransferase by chitosan and alginate for eficiente production of fructooligosaccharides. Process Biochemistry. v.49, p. 840-844, 2014. ISSN: 1359-5113

Gonçalves, H. B. β-D-frutofuranosidases de *Fusarium graminearum*: produção, purificação, imobilização e determinação das propriedades bioquímicas de enzimas solúveis e secas em Spray dryer. 2013. 122f. Tese (Doutorado em Biotecnologia), Universidade Estadual paulista "Júlio de Mesquita Filho". Araraquara, 2013.

Gonçalves, H. B.; Jorge, J. A.; Guimarães, L. H. S. Immobilization of *Fusarium graminearum* β-D-fructofuranosidase using alternative cellulosic supports: stabilization and production of fructooligosaccharides. Food Science and Biotechnology, v. 24, p. 1429-1435, 2015. DOI: 10.1007/s10068-015-0183-z

Hernalsteens, S.; Maugeri, F. Purification and characterization of a fructosyltransferase from *Rhodotorula* sp. Applied Microbiology Biotechnology, v.79, p.589-596, 2008. DOI: 10.1007 / s00253-008-1470-x

Maiorano, A. E.; Piccoli, R. M.; Sabino, E.; Rodrigues, M. F. A. Microbial production of fructosyltransferases for synthesis of pre-biotics. Biotechnology Letters, v. 30, p. 1867-1877, 2008. DOI: 10.1007/s10529-008-9793-3

Marquez, L. D. S. Produção de açúcar invertido pelo uso de invertase imobilizada em resinas. 2007. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.

Muñiz-Márquez, D. B. M. *et al*. Fructo-oligosaccharides (FOS) production by fungal submerged culture using aguamiel as a low-cost by-product. Food Science and Technology, v. 102, p. 75–79, 2018.

Nadeem, H.; Rashid, M. H.; Siddique, M. H.; Azeem, F. Microbial invertases: A review on kinetics, thermodynamics, physiochemical properties. Process Biochemistry, v. 50, p. 1202-1210, 2015. DOI: 10.1016 / j.procbio.2015.04.015

Nelson, N. Aphotometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. Journal Biological and Chemical, v.153, p. 375-380, 1944.

Rustiguel, C. B.; Jorge, J. A.; Guimarães, L. H. S. Characterization of a thermo-tolerant mycelial β-fructofuranosidase from *Aspergillus phoenicis* under 88 submerged fermentation using wheat bran as carbon source. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 4, p. 362-369, 2015. DOI: 10.1016 / j.bcab.2015.05.004

Said, S.; Pietro, R. C. L. R. Enzimas como agentes biotecnológicos. 1ª. Ed. Ribeirão Preto: Editora Legis Summa, p. 416, 2004.

Somogyi, M. A. A new reagente for the determination of sugar. Journal of Biological and Chemical, v. 160, p. 61-68, 1945.

Van Hijum, S. A. F. T.; Bonting, K.; Maarel, M. V. D.; Dijkhuizen, L. Purification of a novel fructosyltransferase from *Lactobacillus reuteri* strain 121 and characterization of the levan produced. FEMS Microbiology Letters, v. 205, p.323-328, 2001. DOI: 10.1016/S0378-1097(01)00490-6

Vitolo, M. Aplicações de enzimas na Tecnologia de Alimentos. In: AQUARE, E. *et al*. Biotecnologia Industrial: biotecnologia na produção de alimentos. 1. Ed., São Paulo, Edgard Blücher Ltda, v. 4, cap. 14, p. 387-418, 2001.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE (*Zingiber officinale* R.) NA QUALIDADE DO AZEITE DE OLIVA EXTRAVIRGEM

**Liana Renata Canonica**

**Andréia Zilio Dinon**
Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho - Santa Catarina, Brasil
lianarenata@gmail.com, andreia.dinon@udesc.br

***Resumo:*** *O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações físico-químicas dos azeites condimentados com óleo essencial de gengibre, em três concentrações diferentes, em relação à amostra de Azeite de Oliva Extra Virgem (AOEV) sem condimentação. Os azeites condimentados foram preparados com a adição do óleo essencial de gengibre nas concentrações de 0,1%, 0,5% e 1,0% (m/v). Para avaliar os parâmetros de qualidade e comparar as alterações das amostras com e sem condimentação foram realizadas as análises de acidez, peróxidos, coeficientes específicos de extinção $K_{232}$, $K_{270}$ e $\Delta K$, todas em triplicata. Os resultados encontrados mostraram que a adição de óleo essencial de gengibre não afetou o índice de acidez, mas aumentou o índice de peróxidos dos AOEVs condimentados em relação a amostra controle. Contudo, estes índices permaneceram em conformidade com a legislação. Os valores de $K_{232}$, que indicam a presença de compostos de oxidação primária, aumentaram para as amostras de AOEV condimentadas e permaneceram de acordo com a legislação vigente apenas para a amostra controle. O valor de $K_{270}$ que indica a presença de compostos de oxidação secundária, aumentou com o aumento da concentração dos condimentos, mas permaneceu de acordo com a legislação vigente para as amostras controle e com 0,1% de óleo essencial de gengibre adicionado. A adição de óleo essencial de gengibre ao AOEV não afetou a qualidade dos azeites quanto à acidez e peróxidos, contudo aumentou a presença de compostos de oxidação primária e secundária,*
**Palavras chave:** *Condimentos. Óleo essencial. Oxidação lipídica***.**

## 1. INTRODUÇÃO

O azeite de oliva é bastante utilizado na culinária pelo sabor agradável e único que oferece aos alimentos e também pelos benefícios proporcionados à saúde dos consumidores. Sua composição rica em ácidos graxos insaturados e antioxidantes naturais é responsável pela melhoria da saúde, com redução dos riscos de doenças cardiovasculares e de câncer (Martins *et al*., 2010; Pinheiro *et al*., 2017).

É obtido a partir dos frutos da oliveira, produzido apenas por processos mecânicos, sem qualquer outro tratamento químico. Uma vez que nenhum processo de refino está envolvido em sua produção, preserva teores nutricionais e sensoriais, pois seus compostos minoritários, originalmente presentes no fruto da oliveira, ficam retidos no azeite, diferentemente de outros óleos vegetais, em que estes compostos são total ou parcialmente removidos durante as diferentes etapas de refino (Uncu e Ozen, 2015; Genovese *et al*., 2015). A composição equilibrada entre ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados e seu elevado teor de antioxidantes naturais, como os compostos fenólicos e tocoferóis, apresentam importante papel nos efeitos benéficos à saúde e na estabilidade oxidativa dos azeites (Bruscatto *et al*., 2017; Krichene *et al*., 2010).

Plantas aromáticas, incluindo especiarias e condimentos, são utilizadas para potencializar o sabor dos alimentos. Além disso, são aplicadas para fins medicinais, terapêuticos, farmacêuticos e para elaboração de cosméticos. A propriedade aromatizante destas plantas é devido a presença de óleo essencial presente na sua estrutura. Esses óleos também possuem ação antioxidante e antimicrobiana (Sharapin *et al*., 2000; Grossman, 2005).

O crescente interesse no consumo de ingredientes funcionais obtidos a partir de fontes naturais tem permitido a aplicação dos óleos essenciais nas indústrias de alimentos, bebidas, produtos de higiene pessoal e cosméticos, com o objetivo de evitar a oxidação lipídica e a contaminação por micro-organismos. Aliado ao interesse do consumidor, destaca-se o fato dos produtos de degradação gerarem enormes prejuízos à indústria pelo desenvolvimento de compostos tóxicos, que afetam a qualidade e a vida útil dos produtos. Desta forma, os óleos essenciais demonstram ser uma possibilidade viável para substituir ou associar-se a antioxidantes sintéticos e antimicrobianos convencionais, com

a finalidade de diminuir a quantidade dessas substâncias nos alimentos (Andrade *et al*., 2012; Lang e Buchbauer, 2012; Sacchetti *et al*., 2004; Gutierrez *et al*. 2008).

Os óleos essenciais são metabólitos secundários extraídos de diversas partes de plantas, possuem composição química complexa e garantem aos vegetais vantagens adaptativas no meio em que estão inseridos (Oussalah *et al*., 2007). A composição química dos óleos voláteis varia entre diferentes espécies e partes de um mesmo vegetal. Os constituintes dos óleos essenciais são principalmente os derivados terpênicos, como os mono e sesquiterpenos e os fenilpropanoides (Solórzano-Santos e Miranda-Novales, 2012).

Diante da possibilidade de utilização dos óleos essenciais para aumentar a conservação, prolongar a vida útil de alimentos, diminuir o uso de antioxidantes sintéticos e atribuir aroma, principalmente em alimentos ricos em lipideos, como é o caso do azeite de oliva, vários estudos têm se dedicado a demonstrar os potenciais promissores desses compostos. O emprego de metabólitos, como os óleos essenciais, são uma alternativa viável ecológica e economicamente. Arcoleo *et al*. (2009) adicionaram óleo essencial de limão ao azeite de oliva e Chandran *et al*. (2017) estudaram o óleo de côco com óleo essencial de gengibre e pimenta preta com efeitos benéficos ao produto condimentado.

De acordo com Elpo *et al*. (2008) e Magalhães *et al.* (1997), o gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), planta da família Zingiberaceae originária do Sudoeste Asiático, tornou-se uma cultura comercial no Brasil, especialmente nos estados de São Paulo e Paraná. É comumente utilizado devido ao seu aroma doce e sabor pungente. Também é conhecido devido sua atividade antioxidante e propriedades medicinais. Estas características devem-se aos constituintes químicos do gengibre, majoritariamente compostos fenólicos e óleos essenciais (An *et al*., 2016; Andreo e Jorge, 2011; Prasad e Tyagi, 2015; Si *et al*., 2018). Como planta medicinal, o gengibre é uma das plantas mais antigas e populares do mundo. Suas propriedades terapêuticas são resultado da ação de várias substâncias, especialmente do óleo essencial que contém canfeno, felandreno, zingibereno, zingerona, curcumeno, sesquifelandreno e bisaboleno. Aldeídos monoterpenos e álcoois também estão presentes (Zarate *et al.* 1992; Van Beek *et al*, 1987).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações físico-químicas de AOEV adicionados de óleo essencial de gengibre nas concentrações de 0,05%, 0,1%, e 1,0% (m/v), em relação a amostra de azeite sem condimentação.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2. 1 Preparo da amostra

O azeite de oliva extravirgem (AOEV) foi adquirido no comércio local da cidade de Chapecó – SC, Brasil e o óleo essencial de gengibre (OEG) foi adquirido de uma empresa do ramo, localizada em Vargem Grande Paulista – SP, Brasil. Foram adicionadas, individualmente, três concentrações diferentes de óleo essencial de gengibre de 0,1%, 0,5% e 1,0% (m/v) diretamente no AOEV.

As amostras de AOEV adicionadas de óleo essencial foram misturadas, com inversão manual nos tempos 0, 12 e 24 horas e permaneceram protegidas da luz, em posição estática, para permitir uma melhor difusão e extração de compostos para o azeite (Benmoussa *et al*., 2016).

### 2. 2 Avaliação da Qualidade dos Azeites

Os azeites de oliva extravirgem condimentados com óleo essencial de gengibe e a amostra controle foram avaliados quanto às características físico-químicas. Os seguintes parâmetros de qualidade foram avaliados: índice de acidez em ácido oleico por titulação com NaOH 0,1 N, índice de peróxido (IP) por titulação com tiossulfato de sódio 0,01 N, coeficientes específicos de extinção a 232 e 270 nm ($K_{232}$, $K_{270}$ e $\Delta K$), em espectrofotômetro UV (FEMTO Cirrus 80SA, São Paulo, Brasil). Todas as análises foram determinadas de acordo com os métodos da União Europeia, Regulamento 2568/91, anexos II e IX (ECC, 1991) e pela AOCS (1990), em triplicata (n = 3).

### 2. 3 Análise estatítica

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação das médias pelo teste de Tukey em nível de 95 % de confiança, com uso do software Statistica 12.5 (Statsoft, USA).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Índices de qualidade dos azeites

#### 3.1.1 Índice de Acidez

O índice de acidez, de acordo com Mendonça *et al.* (2008), é uma importante avaliação do estado de conservação do óleo. Um processo de decomposição, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, altera quase sempre a concentração dos íons hidrogênio. A decomposição dos triglicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, sendo a rancidez quase sempre acompanhada pela formação de ácidos graxos livres. Segundo Chandran *et al*. (2017), a presença de ácidos graxos livres (AGLs) no óleo é uma indicação de processamento insuficiente, atividade de lipase ou outras ações hidrolíticas.

O resultado do índice de acidez para os AOEVs condimentados com óleo essencial de gengibre nas concentrações de 0,1%, 0,5% e 1,0% está na Fig. 1.

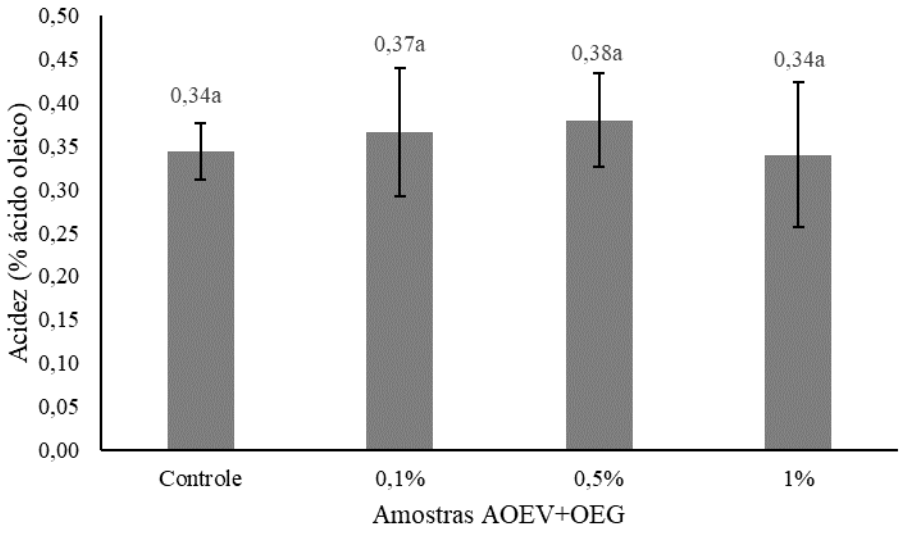



Figura 1. Resultado da acidez (%) para azeites de oliva sem condimento (controle) e condimentados com óleo essencial de gengibre (AOEV +OEG) nas concentrações de 0,1%, 0,5% e 1,0% (m/v).
Fonte: elaborada pela autora (2019).

Os valores da Fig. 1 mostram que a adição de óleo essencial de gengibre ao AOEV não provoca alterações significativas ($p < 0,05$) no índice de acidez dos azeites aromatizados em relação à amostra controle e em todos os casos, os valores foram inferiores aos limites estabelecidos para o AOEV pela legislação europeia (ECC, 1991). Asensio *et al.* (2011), adicionaram óleo essencial de orégano ao azeite de oliva e encontraram resultados semelhantes, sem alteração significativa no índice de acidez dos azeites condimentados.

Chandran *et al.* (2017) também verificaram que os valores de acidez não aumentaram significativamente ao adicionar óleo essencial de gengibre e pimenta preta ao óleo de côco. Os autores ainda relatam que, mesmo não sendo significativo estatisticamente, o leve aumento da acidez em algumas amostras pode estar relacionado à ligeira oxidação induzida pela mistura física dos óleos ou do próprio óleo essencial.

### 3.1.2 Índice de peróxidos

O valor do peróxido é o método mais comum para avaliar a estabilidade oxidativa dos óleos vegetais. A quantidade de peróxidos indica o grau de oxidação primária e, portanto, está ligada a rancidez. O aumento constante do peróxido indica a formação de hidroperóxidos durante a oxidação lipídica (Chandran *et al*., 2017). Na Fig. 2 estão os índices de peróxidos das amostras de azeite de oliva adicionadas de óleo essencial de gengibre.

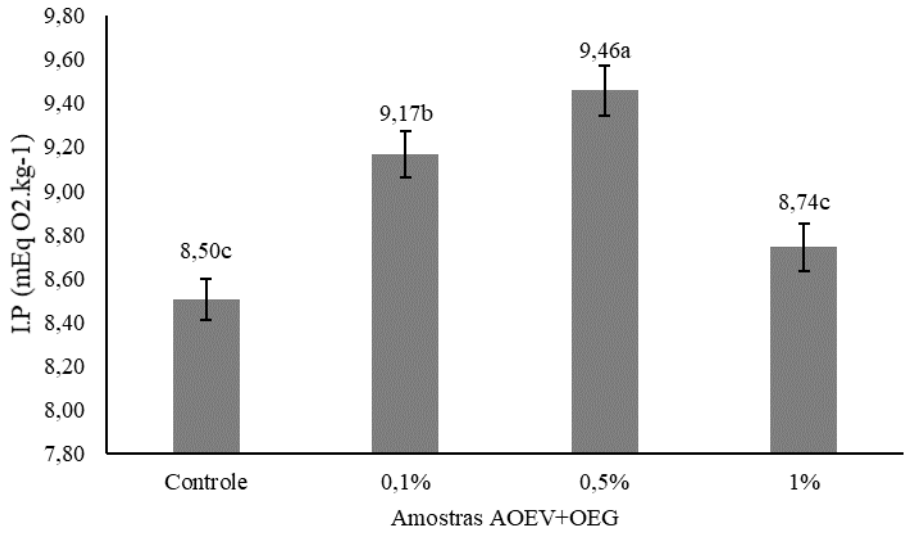



Figura 2. Resultados do índice de peróxidos para azeites de oliva sem condimento (controle) e condimentados com óleo essencial de gengibre (AOEV+OEG) nas concentrações de 0,1 %, 0,5 % e 1,0 % (m/v).
Fonte: elaborada pela autora (2019).

Os azeites condimentados com 0,1% e 0,5% de óleo essencial de gengibre apresentaram um aumento significativo ($p < 0,05$) e crescente para o índice de peróxidos em relação a amostra controle. O tratamento com 1,0% apresentou diferença significativa estatisticamente em relação às demais amostras condimentadas, enquanto não apresentou diferença em relação à amostra controle, como observa-se na Figura 2. Contudo, os valores de peróxidos para a amostra controle e para os azeites condimentados foram inferiores ao máximo permitido de 20 $mEq.O2/Kg^{-1}$ para azeites extra virgens conforme a legislação europeia (ECC, 1991).

Estes resultados indicam que o óleo essencial de gengibre adicionado ao azeite de oliva extravirgem, a partir da concentração de 1,0 % apresenta atividade antioxidante, pois retardou a formação de hidroperóxidos, tendendo a diminuir a oxidação e auxiliar na preservação das propriedades físicas e químicas do azeite de oliva. De acordo com Pinheiro *et al*. (2017), essa atividade antioxidante pode ser atribuída à composição química do óleo essencial, principalmente geranial, canfeno, neral, acetato de geranila, entre outros.

Em estudos com aromatização de óleo de côco, Chandran *et al.* (2017) relata que no nível de incorporação de 1%, os óleos essenciais de gengibre e pimenta preta reduziram efetivamente a formação de peróxidos, indicando melhor estabilização do óleo, em comparação ao controle. Isso pode ser atribuído à eficiência de eliminação de radicais livres dos óleos de especiarias, levando à diminuição da formação de peróxido.

### 3.1.3 Coeficientes específicos de extinção UV

Conforme Boskou *et al*. (2006), a análise espectrofotométrica no ultravioleta é utilizada para avaliar a pureza, a qualidade e a autenticidade do azeite, por meio dos valores dos coeficientes $K_{270}$ (270 nm), $K_{232}$ (232 nm) e ΔK. Os hidroperóxidos conjugados absorvem em 232 nm, os produtos da oxidação secundária, aldeídos e cetonas, absorvem em comprimentos de onda de 262, 268, 270 e 274 nm e os dienos e trienos conjugados absorvem a 270 nm (Kiritsakis, 1998).

Na Tabela 1, observa-se que os valores de $K_{232}$ aumentam significativamente ($p < 0,05$) com o aumento da concentração de condimentos.

**Tabela 1.** Valores de extinção UV em 232 e 270 nm e ΔK para azeites de oliva sem condimento (controle) e condimentados com óleo essencial de gengibre nas concentrações de 0,1%, 0,5% e 1% (m/v).

| Tratamento | $K_{232}$ | $K_{270}$ | ΔK |
|---|---|---|---|
| **Controle** | 2,22±0,01d | 0,19±0,01c | 0,01±0,00d |
| **0,1%** | 2,55±0,02c | 0,21±0,02c | 0,03±0,00c |
| **0,5%** | 2,74±0,01b | 0,48±0,01b | 0,20±0,01b |
| **1%** | 2,87±0,04ª | 0,67±0,02a | 0,42±0,02a |

A amostra controle apresentou valor de $K_{232}$ abaixo do limite máximo de 2,5 estabelecido pela legislação europeia (ECC, 1991), as demais, apresentam valores superiores (Tabela 1), ou seja, as amostras condimentadas com óleo essencial de gengibre apresentaram valores acima do recomendado, independente da concentração adicionada.

Os valores de $K_{270}$ das amostras de azeites condimentados apresentaram diferença significativa em relação ao controle nas concentrações de 0,5% e 1,0% (m/v). Como pode ser observado na Tabela 1, a concentração menor de óleo essencial de gengibre (0,1%) não apresentou diferença em relação à amostra controle e teve diferença com as demais amostras condimentadas. A determinação do coeficiente de extinção a 270 nm ($K_{270}$), indica a propagação de compostos de oxidação lipídica. Os valores de $K_{270}$ apenas para as amostras controle e tratamento com 0,1% de óleo essencial estão de acordo com a legislação europeia, que permite o valor máximo de 0,22 para este parâmetro (ECC, 1991), as demais apresentaram valores superiores. O Coeficiente de variação ($\Delta K$) apresentou aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$) a partir da condimentação das amostras e, apenas a amostra controle apresentou valor menor ou igual a 0,01, atendendo à legislação, estando as demais, portanto, em desacordo (Tabela 1). Valores dos coeficientes acima dos estabelecidos indicam que pode ter ocorrido adulterações ou oxidação excessiva do azeite.

## 4. CONCLUSÃO

Os dados destacadaos permitem afirmar que a adição do óleo essencial de gengibre ao azeite de oliva extravirgem não afetou a qualidade dos azeites quanto aos índices de acidez e peróxidos, mantendo-se sempre abaixo do estabelecido pela legislação.

Os valores de $K_{232}$, que indicam a presença de compostos de oxidação primária, aumentaram para as amostras AOEV condimentadas e permaneceu de acordo com a legislação vigente apenas para a amostra controle. O valor de $K_{270}$, que indica a presença de compostos de oxidação secundária, aumentou com o aumento da concentração do gengibre, contudo, somente os valores da amostra controle e com a menor concentração de óleo essencial permaneceram de acordo com a legislação vigente para esses coeficientes.

Sendo assim, pode-se concluir que a condimentação do azeite de oliva extravirgem com óleo essencial de gengibre tem potencial de aplicação, pois mostrou capacidade de retardar a formação de hidroperóxidos, tendendo a diminuir a oxidação e auxiliar na preservação das propriedades físicas e químicas do azeite de oliva. Além disso, cabe destacar que tanto o AOEV como o OEG possuem propriedades antioxidantes, medicinais, entre outras.

## 5. REFERÊNCIAS

AOCS. 1990. “American oil chemists´ society”. *Offcial methods and recommended praticces of the American Oil Chemists` Society*. 4th edition.

An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y. e Xiao, G. 2016. Comparison of diferente drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chemistry*. Vol. 197, p. 1292–1300.

Andrade, M. A. Cardoso, M, das G.; Batista, L. R. Mallet, A. C. T. e Machado, M. F. 2012. Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeyla*nicum e *Zingiber officinale*: composição, atividades antioxidante e antibacteriana. *Revista Ciência Agronômica.* Vol. 43, n. 2, p. 399-408.

Andreo, D. e Jorge, N. 2011. Capacidade Antioxidante e Estabilidade Oxidativa de *Gengiber officinale*. *Unopar Científica Ciências Biológicas e da Saúde.* V. 13, p.33-37.

Arcoleo, G., Indovina, M. C., Varvara, G., Lanza, C. M. e Mazzaglia, A. 2009. Improving olive oil shelf life with lemon essential oil. *Chemical Engineering Transactions*. V. 17, p. 849-854.

Asensio, C. M., Nepote, V. e Grosso, N. R. 2011. Chemical Stability of Extra-Virgin Olive Oil Added with Oregano Essential Oil. *Journal of Food Science.* Vol. 76, n. 7, p. 445-450.

Benmoussa, H., Farhat, A., Elfalleh, W., Maio, I. D., Servili, M. e Romdhane, M. 2016. A rapid application to flavor the olive oil with dried rosmarinus officinalis l. Leaves: microwave-assisted maceration. *Journal of Food Processing and Preservation*. V. 41.

Boskou, G., Salta, F. N., Chrysostomou, S., Mylona, A., Chiou, A. e Andrikopoulos, N. K. 2006. Antioxidant capacity and phenolic profile of table olives from the Greek Market. *Food Chemistry*. V. 94, p. 558-564.

Bruscatto, M. H., Zambiazi, R. C., Crizel-Cardoso, M., Piatnicki, C. M. S., Mendonça, C. R. B., Dutra, F. L. G. e Coutinho, E. F. 2017. Chemical characterization and oxidative stability of olive oils extracted from olive trees of Southern Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira.* Vol. 52, n. 12, p.1231-1240.

Chandran, J., Nayana. N., Roshini, N. e Nisha, P. 2017. Oxidative stability, thermal stability and acceptability of coconut oil flavored with essential oils from black pepper and ginger. Journal of Food Science and Technology. Vol. 54, n. 1, p.144–152.

Elpo, E. R. S., Negrelle, R. R. B. e Rücker, N. G. A. 2008. Produção de gengibre no município de Morretes, PR. *Scientia Agraria*. V. 9, n. 2, p. 211-217.

Genovese, A., Caporaso, N., Villani, V., Paduano, A. e Sacchi, R. 2015. Olive oil phenolic compounds affect the release of aroma compounds. *Food Chemistry.* V. 181, p.284-294.

Grossman, L. *Óleos Essenciais: na culinária, cosmética e saúde*. São Paulo: Optionline, 2005.

Gutierrez, J., Barry-Ryan, C. e Bourke, P. 2008. The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients. *International Journal of Food Microbiology*. V. 124, n. 1, p. 91-97.

Kiristsakis, A. K. *Olive oil: From the tree to the table*. Food and Nutrition Press Incorporation. Trumbull, Connecticut. 1998. 2nd edition.

Krichene, D., Allalout, A., Mancebo-Campos, V., Salvador, M.D., Zarrouk, M. e Fregapane, G. 2010. Stability of virgin olive oil and behaviour of its natural antioxidants under medium temperature accelerated storage conditions. *Food Chemistry*. V.121, p.171-177.

Lang, G. e Buchbauer, G. 2012. A review on recent research results (2008-2010) on essential oils as antimicrobials and antifungals. *Flavour and Fragrance Journal*. V. 27, n. 1, p.13-39.

Magalhães, M. T., Koketsu, M., Gonçalves, S. L., Cornejo, F. E. P. e Marques, L. M. R. 1997. Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) brasileiro: aspectos gerais, óleo essencial e oleoresina. Parte 1 – Aspectos gerais, óleo essencial. *Food Science and Technology*. V. 17, n. 2, p. 132-136.

Martins, A. G. L de A. 2010. *Atividade antibacteriana dos óleos essenciais de manjericão (Ocimum basilicum Linnaeus) e do gengibre (Zingiber officinale Roscoe) frente a linhagens de Escherichia coli Enteropatogênicas isoladas de hortaliças*. 179f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro Tecnológico da Universidade Federal da Paraíba, Paraíba.

Mendonça, M. A., Borgo, L. A. Araújo, W. M. C. e Novaes, M. R. C. G. 2018. Alterações físico-químicas em óleos de soja submetidos ao processo de fritura em unidades de produção de refeição no Distrito Federal. *Comunicação em Ciências da Saúde*. V.19, n.2, p.115-122.

Prasad, S. e Tyagi, A. K. *Ginger and its constituents: Role in prevention and treatment of gastrointestinal cancer*. Gastroenterology Research and Practice**,** 2015.

Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L. e Lacroix, M. 2007. Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Food Control*. V. 18, n. 5, p. 414-420.

Pinheiro, P. F., Chaves, B. V., Silva, P. I., Della Lucia, S. M., Saraiva, S. H. e Pinheiro, C. A. 2017. Óleos essenciais de manjericão e gengibre na aromatização de azeite de oliva. *Nucleus.*V.14, n.1, p. 189-196.

Regulamento da Comissão (ECC) N$^0$ 2568/9. 1991. "Relativo às características do azeite e óleo de bagaço de azeitona e nos métodos de análise pertinentes". *Jornal Oficial da União Europeia*. L248, p. 1-82.

Sacchetti, G., Maietti, S., Muzzoli, M. V., Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M. e Brun, R. 2004. Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. *Food Chemistry*. V. 91, n. 3, p. 621-632.

Sharapin, N., Rocha, L. M. e Pinzón, R. 2000. *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. Colombia: Convenio Andrés Bello. 1st edition.

Si, W., Chen, Y. P., Zhang, J., Chen, Z-Y. e Chung, H. Y. 2018. Antioxidant activities of ginger extract and its constituents toward lipids**.** *Food Chemistry***.** V. 239, p. 1117–1125.

Solórzano-Santos, F. e Miranda-Novales, M. G. 2012. Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. *Current Opinion in Biotechnology*. V. 23, n. 2, p. 136- 141.

Uncu, O. e Ozen, B. 2015. Prediction of various chemical parameters of olive oils with Fourier transform infrared spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*. V.63, n. 2, p. 978-984.

Van Beek, T. A., Posthumus, M.A., Lelyveld, H.V.P. e Yen, B.T. 1987. Investigation of the essential oil of Vietnamese ginger. *Phytochemistry*. V. 26, n. 11, p.3005–3010.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO SÓLIDO RESULTANTE DO PROCESSAMENTO DA FÉCULA DE MANDIOCA

**Liana Renata Canonica**

**Dayane Alves Moresco**

**Angélica Inês Kaufmann**

**Rafaela da Rosa Sartoretto**
Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho - Santa Catarina, Brasil
lianarenata@gmail.com, dayane.moresco@udesc.edu.br, kaufmann.angelica@gmail.com

**Marília Assunta Sfredo**
Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil
mlfiorese@gmail.com

**Mônica Lady Fiorese**
Universidade do Oeste do Paraná, Paraná, Brasil
marilia.sfredo@erechim.ifrs.edu.br

***Resumo:*** *O resíduo sólido resultante do processamento da fécula de mandioca é considerado uma fonte de fibras de alta qualidade. Também denominado de farelo ou bagaço, esse resíduo tem sido destinado para a alimentação de animais. Entretanto, estudos vêm demonstrando a viabilidade do aproveitamento desse resíduo na alimentação humana, com tendência promissora como constituinte base para a elaboração de novos produtos. O objetivo deste trabalho é avaliar físico-quimicamente o farelo resultante do processamento da fécula de mandioca a fim de verificar seu potencial na elaboração de produtos alimentícios. As análises físico-químicas realizadas foram: umidade, lipídeos, proteínas, cinzas, pH, fibras e glicídios. Os resultados encontrados para o farelo foram: 84,65% de umidade, 1,13% de lipídeos, 1,59% de proteínas, 0,3% de cinzas, pH de 5,2, 44,15% de fibras e de 47,62%. glicídios. O farelo resultante do processamento da fécula de mandioca mostrou-se uma importante fonte de carboidratos e elevado teor de fibras, podendo ser utilizado na elaboração de alimentos, agregando valor e aporte nutricional e energético ao produto. Dessa forma, o aproveitamento desse resíduo possui um caráter econômico, social e de saúde pública, além de contribuir para o aumento e divulgação do conhecimento na comunidade científica.*

**Palavras chave:** *Aproveitamento. Bagaço. Farelo. Fécula. Fibras.*

## 1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz)* é considerada uma das mais importantes culturas alimentares, devido à alta produtividade de calorias e maior eficiência biológica como fonte de energia (Martinez e Feiden, 2017; Silva *et al*., 2012), além de ser uma planta de fácil cultivo, em função dos baixos custos de produção, ampla adaptação às mais variadas condições de clima, solo e tolerância ao ataque de insetos. No Brasil, esta espécie é cultivada em todas as regiões. A importância econômica da cultura da mandioca vem do interesse em suas raízes ricas em amido, utilizada na alimentação humana e animal, assim como matéria-prima para diversos derivados industriais e tem expressiva participação na geração de emprego e renda, especialmente para pequenos produtores (Fiorda *et al*., 2013; Otsubo e Farias, 2002; Vilhalva *et al*., 2011).

A mandioca para a indústria tem uma grande variedade de usos, dos quais a farinha e a fécula (também denominada como polvilho) são os mais importantes. A farinha tem essencialmente uso alimentar, com elevada especificidade regional que, em muitos casos, torna o produto cativo a mercados locais. A fécula e seus produtos derivados têm sido utilizados em produtos amiláceos para a alimentação humana ou como insumos em diversos ramos industriais, tais como o de alimentos embutidos, embalagens, colas, mineração, têxtil e farmacêutica (Cardoso e Souza, 2002).

Considerando-se os principais tipos de processamento das raízes de mandioca no Brasil, como a fabricação de farinha de mandioca e a extração de fécula, os subprodutos gerados podem ser sólidos ou líquidos (Camargo *et al*.,

2008; Sagrilo *et al*., 2003). De acordo com Leonel *et al.* (1999) e Rodrigues *et al*. (2011), durante o processo de extração da fécula de mandioca é gerado o farelo, massa ou bagaço, resíduo sólido composto pelo material fibroso da raiz e parte da fécula que não foi possível extrair no processamento. A elevada quantidade de farelo gerado e sua umidade fazem com que este material seja um problema durante a safra, devido às dificuldades de transporte e armazenamento. Este farelo tem sido disposto em valas por grande parte das fecularias, outras utilizam o farelo, juntamente com complementos proteicos, na formulação de ração para bovinos. Além destas destinações, pode ser empregado como substrato para produção de etanol (Leonel, 2001; Martinez e Feiden, 2017).

Para cada tonelada de raiz de mandioca processada são gerados, aproximadamente, 928,6 quilogramas de bagaço (Jasko *et al.*, 2011, Fiorda *et al.*, 2013). O bagaço, além de ser um resíduo de baixo valor comercial (R$ 15,00 a tonelada), ainda contém 73% de amido e 16% de fibra, sendo esta considerada de boa qualidade (EMBRAPA, 2005; Vilhalva *et al*., 2011; Fiorda *et al.*, 2013). O farelo é um resíduo que se apresenta como um problema para as fecularias, pois o único uso que tem se dado a ele é para a alimentação animal, ainda em pequena escala, da forma como é gerado na fecularia (Leonel, 2001). Existem algumas limitações para a utilização do bagaço, o principal problema é o teor de umidade elevado (85%), que torna este produto ligeiramente fermentescível por micro-organismos. Assim, para reduzir este risco, é necessário processá-lo rapidamente após sua obtenção, por meio de secagem artificial (Vilhalva *et al*., 2011).

Devido à sua composição e da considerável quantidade gerada, segundo Cereda (1996) e Paiva (2008) várias pesquisas vêm avançando na utilização de subprodutos e resíduos das agroindústrias em substituição total ou parcial de matéria-prima ou em novos produtos, voltados para a alimentação animal e humana, caracterizando-os e analisando-os do âmbito tecnológico, químico, físico-químico e sensorial.

Diante disso, o interesse e, também, a necessidade de utilização desse resíduo são significativas, visto os prejuízos causados ao meio ambiente com a sua destinação. Sendo assim, justifica-se o estudo para aproveitamento do resíduo sólido resultante do processamento de fécula de mandioca. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as características físico-químicas do resíduo proveniente do processamento de extração da fécula de mandioca com o intuito de reaproveitá-lo como matéria-prima de produtos alimentícios.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2. 1 Preparo do resíduo

O resíduo sólido (farelo) resultante do processamento da fécula de mandioca foi proveniente de uma indústria da região oeste de Santa Catarina, que processa mandioca para a produção de fécula.

As amostras foram dispostas em bandejas e mantidas congeladas em temperaturas de até -86ºC em ultra-freezer marca Indrel, linha IULT, até o momento da realização das análises físico-químicas, conforme indicado na Fig. 1.



Figura 1. Resíduo disposto em bandejas

### 2. 2 Caracterização do resíduo

As análises físico-químicas realizadas no farelo de mandioca incluem a determinação pH, perda por dessecação (umidade), resíduo por incineração, lipídeos ou extrato etéreo, proteínas pelo método de Kjeldahl modificado, fibra alimentar total pelo método enzimático-gravimétrico e glicídios, subtraindo-se de cem os valores de umidade, cinzas, proteínas e lipídios. As análises foram realizadas em triplicata, utilizando a metodologia recomendada pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), com algumas adaptações. Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Química de Alimentos da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, campus de Pinhalzinho – SC.

**2.2.1 Perda por dessecação**

A umidade das amostras foi determinada pela técnica de secagem direta em estufa à 105ºC descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando-se de uma balança semi-analítica marca comercial Bioprecisa modelo FA-2104N, estufa à vácuo marca comercial Alfax modelo 400-4ND e dessecador com sílica gel.

**2.2.2 Lipídios ou extrato etéreo**

Os lipídeos foram determinados pela técnica de extração direta em Soxhlet, descrita pela norma do Instituto Adolfo Lutz (2008). A amostra submetida à técnica de determinação de umidade foi utilizada para a determinação de lipídeos. Utilizou-se um aparelho extrator tipo Soxhlet, éter de petróleo como solvente, balança analítica marca comercial Bioprecisa modelo FA-2104N e estufa à vácuo marca comercial Alfax modelo 400-4ND.

**2.2.3 Proteínas**

A determinação de proteínas foi baseada nos métodos de Macro Kjeldahl descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e por Campos *et al.* (2004), com fator de conversão de nitrogênio em proteína de 6,25. Para a digestão e desmineralização da amostra utilizou-se um bloco digestor marca comercial Quimis modelo 53BDN12. Para a destilação foi utilizado um destilador marca comercial Alfax modelo LS 0361.

**2.2.4 Resíduo por incineração**

As cinzas foram determinadas pelo método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). As amostras foram pesadas em balança semi-analítica marca comercial Bioprecisa modelo FA-2104N, submetidos à mufla marca comercial Quimis modelo Q-355D2 e resfriadas em dessecador com sílica gel e incineradas a temperatura de 550ºC.

**2.2.5 Determinação de pH**

O pH das amostras foi avaliado pelo processo potenciométrico descrito na norma do Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando-se de um pHmetro digital da marca comercial Quimis e modelo Q-400MT. Em solução homogeneizada do produto com água destilada e previamente calibrado, foi determinado o pH diretamente da amostra.

**2.2.6 Fibra alimentar total**

A determinação de fibra alimentar foi baseada no método enzimático-gravimétrico descrito na norma do Instituto Adolfo Lutz (2008), com algumas adaptações. A metodologia baseia-se na gelatinização e hidrólise parcial do amido em banho maria marca comercial Quimis modelo Q226M2, com uma alfa-amilase termorresistente, seguida de hidrólise da proteína com uma protease e, hidrólise do amido residual com uma amiloglucosidase. Em seguida, a porção fibra foi precipitada pela adição de etanol 95%, seguido de filtração com membrana de 0,2 μm e lavagem do resíduo com acetona. As membranas contendo os resíduos foram secas em estufa a 105°C marca Alpax modelo 400-4ND, durante uma noite. Após resfriados, foram pesados em balança semi-analítica marca comercial Bioprecisa modelo FA2104N.

**2.2.7 Glicídios**

O teor de glicídios foi calculado por diferença considerando a fração de fibra alimentar total, o teor de cinzas, o percentual de lipídeos e a fração de proteínas (total %).

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**3. 1 Características físico-químicas do resíduo**

Os resultados das análises físico-químicas que caracterizam o resíduo de mandioca são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1. Características físico-químicas do resíduo do processamento da fécula de mandioca.

| Parâmetros | Resultados |
|---|---|
| Umidade | 84,65% ± 2,1 |
| Lipídios | 1,13% ± 0,08 |
| Proteína | 1,59% ± 0,2 |
| Cinzas | 0,31% ± 0,05 |
| pH | 5,2 ± 0,1 |
| Fibra alimentar total | 44,15% ± 2,5 |
| Glicídios | 47,62% ± 3,2 |

### 3.1.1 Umidade

A determinação do percentual de umidade no resíduo de mandioca torna-se evidente para processo de secagem, visto que o objetivo da secagem é reduzir a quantidade de água a níveis aceitáveis pela legislação. A perda de massa sofrida pelo resíduo de mandioca, quando aquecido em estufa a 105°C até peso constante, resultou num percentual de 84,65%. O resultado dessa análise está de acordo com o encontrado por Cereda (2001) e Leonel (2001) que apresentaram, em seus estudos, teores de umidade na faixa de 85%.

O conhecimento do teor de umidade dos produtos é de extrema importância para a otimização do processo de industrialização. É fundamental para a determinação das condições de processamento, secagem, armazenamento e comercialização. Produtos com elevado percentual de umidade não podem ser armazenados por muito tempo (somente em condições controladas).

### 3.1.2 Lipídeos

A determinação de lipídeos pela extração com éter de petróleo resultou num percentual de 1,13%. O resultado da análise difere dos dados encontrados por Cereda (2001), Leonel (2001) e Rocha (2008) que encontraram, respectivamente, 1,7%, 0,83% e 0,87%, porém, pode-se considerar que foi encontrado um valor intermediário neste estudo. Souza (2011), analisando bagaço de mandioca, obteve 1,2% de lipídeos, resultado mais próximo ao obtido no presente estudo. Essa diferença pode ser atribuída ao peso final do balão o qual pode conter resíduos de produtos de higienização e umidade do ar.

### 3.1.3 Proteínas

O resultado da análise de proteínas encontrado para o resíduo corresponde a 1,57% e está dentro da média apresentada por diferentes autores, que variam de 1,06% a 1,98% (Rocha, 2008 e Cereda, 2001), ao analisarem o farelo de mandioca. Ainda, o resultado mostrado no presente estudo está de acordo com o encontrado na literatura. Leonel e Cereda (2000), ao caracterizarem amostras de farelo de mandioca encontraram valores de 1,59% e, Fiorda *et al.* (2013), ao elaborar uma farinha com o bagaço da mandioca obteve 1,97% de proteínas e 0,14% para a fécula.

### 3.1.4 Cinzas

A eliminação da matéria orgânica através da incineração da amostra a 500-600°C resultou em 0,31% de cinzas, as quais correspondem à matéria inorgânica do farelo. De acordo com Cereda (2001) e Rocha (2008) as cinzas representam, respectivamente, 1,65% e 1,08%, divergindo do resultado encontrado na análise. As características dos resíduos variam bastante em função de uma série de fatores tais como cultivar, idade da planta, tempo de colheita, tipo de equipamento e regulagem, entre outros (Cereda, 2001).

### 3.1.5 pH

O pH do resíduo avaliado à temperatura de 17,8°C foi de 5,20, estando de acordo com o encontrado por diferentes autores para farelo de mandioca, como 4,58 (Rocha, 2008) e 5,39 (Cereda, 2001). Os valores de pH são bastante variáveis em função do processo natural de fermentação do resíduo, a qual pode ter sido acelerada pelo processo de descongelamento do mesmo para a respectiva análise. Contudo, o valor de pH do resíduo indica um produto levemente ácido e pH mínimo para o desenvolvimento da maioria dos micro-organismos patógenos.

### 3.1.6 Fibra alimentar total

Para análise de alimentos de consumo humano, o conhecimento do teor de fibra alimentar é o mais adequado que o de fibra bruta por se tratar de componentes das paredes celulares vegetais incluídas na dieta humana que resistem à ação

das secreções do trato gastrointestinal (IAL, 2008). O teor de fibra alimentar total resultou em 44,15%. O resultado encontrado é similar aos estudos realizados por Blanco-Metzler e Valle (2007) e Souza (2011), nos quais quantificaram 46,3% ± 4,3 e 50,3%, respectivamente, de fibra dietética no farelo de mandioca.

Um produto sólido pronto para o consumo, para ser considerado "fonte" de fibra, deve ter 3 g (100 g)$^{-1}$ de fibra alimentar total, e, para ser considerado como de "alto teor" de fibras, 6 g (100 g)$^{-1}$ (BRASIL, 2009). Mattos e Martins (2000) propuseram a seguinte classificação para o teor de fibras presente em 100 g de alimentos: muito alto (superior a 7 g), alto (4,5 - 6,9 g), moderado (2,4 - 4,4 g) e baixo (inferior a 2,4 g). Utilizando-se esta classificação, o farelo pode ser considerado um alimento com elevado teor de fibras. Portanto, é promissor o uso deste como fonte de fibras para o enriquecimento de vários produtos alimentícios, justificando o seu aproveitamento para a formulação de produtos funcionais, como barras e massas alimentícias, bolos e biscoitos sem glúten, entre outros (Souza, 2011; Fiorda *et al.*, 2013). Fiorda *et al.* (2013) relata que a farinha do bagaço de mandioca possui teor de fibra alimentar total 104 vezes maior, em relação à fécula de mandioca, conforme apresentando em seu estudo com valores de 0,61% para a fécula e 60,35% para a farinha.

### 3.1.7 Glicídios

Neste grupo de compostos, também conhecidos como hidratos de carbono, têm-se os mais variados tipos de substâncias, desde os monossacarídeos representados pela glicose, os dissacarídeos, dos quais os mais frequentes são a sacarose e a lactose, até os polissacarídeos como amido e celulose (IAL, 2008).

Os glicídios foram calculados por diferença, considerando a fração de fibra alimentar total, o teor de cinzas, o percentual de lipídeos e a fração de proteínas (total %). O percentual resultante foi de 47,62%, se aproximando do encontrado por Souza (2011), que ao estudar bagaço de mandioca encontrou 44,4% para carboidratos totais. De acordo com Abrahão *et al.*, (2006), o conteúdo de carboidratos encontrado em uma amostra de resíduo de mandioca representa 95,98% do peso total, diferindo, portanto, do percentual encontrado no presente trabalho, entretanto, essa diferença pode ser explicada devido ao fato do método empregado por este também ser diferente. Porém, se considerarmos que Monteiro *et al.* (2003), consideram que as fibras também são classificadas como carboidratos, o conteúdo de carboidratos do resíduo em questão resultaria em 93,92%, se aproximando do encontrado por Abrahão *et al.* (2006).

Ainda, conforme relatos de Silva *et al*. (2004) o amido é o principal material de reserva do reino vegetal e a principal fonte de carboidratos disponível para a alimentação humana. E, de acordo com Rodrigues e Campos (2001), as raízes e os resíduos da mandioca são alimentos essencialmente energéticos devido aos altos conteúdos de amido. Pode-se concluir que o carboidrato presente em maior proporção no farelo é o amido e, portanto, pode-se, também, comparar a quantidade de carboidratos resultante do presente trabalho com o estudo de Blanco-Metzler e Valle (2007), que encontrou 57,2 % ± 4,7 como teor médio de amido do farelo, valor aproximado do encontrado no presente estudo.

Diante dos resultados, o farelo proveniente de indústrias de extração de amido de mandioca (fecularias) constitui uma importante fonte de carboidratos e de fibra dietética para alimentação humana, podendo ser considerado como um ingrediente promissor na elaboração de novos produtos direcionadas à alimentação humana.

## 4. CONCLUSÃO

O resíduo de mandioca mostrou-se um alimento rico em fibras e carboidratos, com potencial promissor na aplicação e desenvolvimento de novos produtos, podendo agregar valor nutricional e energético. As análises físico químicas permitiram caracterizar o resíduo com umidade de 84,65%, 1,13% de lipídeos, 1,59% de proteínas, 0,31 de cinzas, pH de 5,2, 44,15% de fibras e de 47,62% glicídios. O seu teor de fibras permite classificá-lo como um alimento com elevado teor de fibras, com tendência de uso no enriquecimento e formulação de produtos com apelo funcional, como barras alimentícias, massas, bolos, biscoitos, pães, entre outros.

O farelo pode contribuir na composição nutricional dos produtos alimentícios, agregando valor e aporte energético, além de apresentar alta disponibilidade, ser de fácil manejo para o desenvolvimento de alimentos industriais e contribuir na redução do impacto ambiental, devido ao reaproveitamento de um resíduo que é comumente descartado. Sendo assim, o reaproveitamento do resíduo sólido resultante do processamento da fécula de mandioca visa à diminuição dos custos nos processos de industrialização, a partir da transformação do resíduo em subprodutos e, deste modo, agregar valor ao sistema como um todo.

Pode-se concluir que este trabalho fornece subsídios para o aproveitamento deste resíduo agroindustrial de baixo custo na produção de alimentos para o consumo humano e, também, informações tanto para as indústrias produtoras quanto aos consumidores.

## 5. REFERÊNCIAS

Abrahão, J. J. dos S.; Prado, I. N. do; Perotto, D.; Zeoula, L. M.; Lançanova, J. A. C. e Lugão. S. M. B. 2006. "Digestibilidade de dietas contendo resíduo úmido de mandioca em substituição ao milho para tourinhos em terminação". *Revista Brasileira de Zootecnia*. Vol. 35, p. 1447-1453.

Blanco-Metzler, A. e Valle, T. L., 2007. "Fibra dietética e fécula em resíduos sólidos (farelo) de indústrias de fécula e farinha de mandioca". *Revista Raízes e Amidos Tropicais, Campinas*. Vol. 3.

BRASIL. 2009. Ministério da Saúde. Resolução n°. 18/99. *Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde, novos alimentos/ingredientes, substâncias bioativas e probióticos. IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas.*

Camargo K. F. de; Leonel, C. e Mischan, M. M. 2008. "Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas". *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 28, p. 586-591.

Campos, F. P. de; Nussio, C. M. B. e Nussio, L. G. 2004. *Métodos de análise de alimentos*. Piracicaba: FEALQ. 135 p.

Cardoso, C. E. L. e Souza, J. S. 2002. "Importância, potencialidades e perspectivas do cultivo da mandioca na América Latina". In: *Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargil. Vol. 2, p. 29-47.

Cereda, M. P. 1996. *Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca*. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais. 56p.

Cereda, M. P. 2001. *Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. São Paulo: Fundação Cargil. Vol. 4.

EMBRAPA. 2005. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *"Subprodutos da composição dos resíduos sólidos"*.

Fiorda, F. A.; Soares Júnior, M.; Silva, F. A. da; Souto, L. R. F. e Grossmann, M. V. E. 2013. "Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca". *Pesquisa Agropecuária Tropical.* Vol, 43, p 408-416.

Instituto Adolfo Lutz. IAL. 2008. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo: Secretaria do Estado de Saúde. 1018p. 4ª edição (1ª edição digital).

Jasko, A. C.; Campos, P. F. de; Padilha, L.; Pauli, R. B. de; Quast, L. B.; Schnitzler, E. e Demiate, I. M. 2011. "Caracterização físico-química de bagaço de in natura e após tratamento hidrolítico". *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial.* Vol. 5, p 427-441.

Leonel, M. 2001. "O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca". In: Cereda, M. P.; Vilpoux, *O. Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca.* São Paulo: Fundação Cargil. Vol. 4, p. 211-217.

Leonel, M. e Cereda, M. P. 2000. "Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca". *Food Science and Technology*. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos. V. 20, n. 1, p. 122-127.

Leonel, M.; Cereda, M. P. e Roau, X. 1999. "Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas". *Ciência e Tecnologia de Alimentos.* V. 19, p. 241–245.

Martinez, D. G. e Feiden, A. 2017. "Potencial do resíduo do processamento da mandioca para produção de etanol de segunda geração". *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. Vol. 6, n. 2, p. 141-148.

Mattos, L. L. e Martins, I. S. 2000. "Consumo de fibras alimentares em população adulta". *Revista de Saúde Pública.* V. 34, n. 1, p. 50-55.

Monteiro, J. B. R.; Mendonça, D. R. B.; Goveia, G. R.; Bruno, L.; Merino, M. e Sachs, A. 2003. *Manual Oficial de Contagem de Carboidratos da Sociedade Brasileira de Diabetes.* Rio de Janeiro: Diagraphic.

Otsubo, A. A. e Farias, A. R. N. 2002. *Cultivo da Mandioca na Região Centro-Sul do Brasil*.

Paiva, A. P. 2008. *Estudos tecnológico, químico, fisco-químico e sensorial de barras alimentícias elaboradas com subprodutos e resíduos agroindustriais.* 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Curso de Mestrado em Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Lavras,Lavras,

Rocha. A. de S. 2008. *Caracterização e aproveitamento do farelo residual do processamento de fécula de mandioca na elaboração de biscoitos.* 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

Rodrigues, A. de A. e Campos, O. F. de. 2001. "Resíduos industriais da raiz da mandioca na alimentação de bovinos". In: Cereda, M. P.; Vilpoux, O. *Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. São Paulo: Fundação Cargil. Vol. 4, p.240- 258.

Rodrigues, J. P. M.; Caliari, M. e Asquieri, E. R. 2011. "Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de farelo de mandioca". *Ciência Rural.* Vol. 41, p. 2196-2202.

Sagrilo, E.; Vidigal Filho, P. S.; Pequeno, M. G.; Scapim, C. A.; Vidigal, M. C. G.; Diniz, S. P. S. de S.; Modesto, E. C. e Kvitschal, M. V. 2003. "Effect of harvest period on the quality of storage roots and protein content of the leaves in five cassava cultivars (*Manihot esculenta*, Crantz)". *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 46, p. 295-305.

Silva, D. V.; Ferreira, E. A.; Silva, A. A.; França, A. C. e Sediyama, T. 2012." Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca". *Planta daninha.* Vol. 30, n. 4, p. 901–910.

Silva, M. C.; Thiré, R. M. S. M.; Pita, V. J. R. R.; Carvalho, C. W. P. e Andrade, C. T. 2004. "Processamento de amido de milho em câmara de mistura". *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 2, p. 303-310.

Souza, T. A. C. 2011. *Segurança microbiológica de resíduos sólidos de fecularia de mandioca e aplicação em bolos para a alimentação humana*. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola de Agronomia e Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Vilhalva, D. A. A.; Soares Júnior, M. S.; Moura, C. M. A. de; Caliari, M.; Souza, T. A. C.; Silva, F. A. da. 2011. "Aproveitamento da farinha de casca de mandioca na elaboração de pão de forma". *Revista do Instituto Adolfo Lutz*. Vol. 70, p. 514-521.

**6. NOTA DE RESPONSABILIDADE**

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

Obs.: A citação se refere a Rodrigues e Campos (2001), correspondendo à referência:

Rodrigues, A. de A. e Campos, O. F. de. 2001. "Resíduos industriais da raiz da mandioca na alimentação de bovinos". In: Cereda, M. P.; Vilpoux, O. *Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. São Paulo: Fundação Cargil. Vol. 4, p.240- 258.

Silva (2002) – citação estava equivocada, com ano incorreto.

Rocha (2005) – citação estava com ano equivocado, correto é Rocha (2008), correspondendo á citação:

Rocha. A. de S. 2008. *Caracterização e aproveitamento do farelo residual do processamento de fécula de mandioca na elaboração de biscoitos*. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MICROPARTÍCULAS OBTIDAS POR *SPRAY DRYING* UTILIZANDO DIFERENTES MATERIAIS DE PAREDE E ÓLEO ESSENCIAL DE CITRONELA (*Cymbopogon winterianus*)

**Maria Eduarda Wlodarkievicz**[1]
**Patrícia Fonseca Duarte**[1]
**Ilizandra Aparecida Fernandes**[1]
**Lucas Henrique do Nascimento**[1]
**Alexander Junges**[1]
**Rogério Luis Cansian**[1]
**Natalia Paroul**[1]

[1]Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim, Av. Sete de Setembro, 1261, Fátima, Erechim – RS.
mw_eduarda@hotmail.com; paty_fonsecaduarte@hotmail.com; ilizandrafernandes@yahoo.com.br; lucashenryque.nascimento@gmail.com; junges@uricer.edu.br; cansian@uricer.edu.br; nparoul@uricer.edu.br

**Resumo:** *O objetivo do trabalho foi obter micropartículas através da técnica por spray drying com diferentes materiais de parede e óleo essencial de citronela (Cymbopogon winterianus), visando avaliar a estutura das micropartículas e a eficiência do processo de microencapsulação. As emulsões foram preparadas utilizando 10% de óleo (p/v) e os materiais de parede 40% (p/v) na proporção 1:1 em diferentes combinações: Goma arábica e maltodextrina, goma arábica e concentrado proteico de soro de leite em pó (60% de proteína) e maltodextrina e concentrado proteico de soro de leite em pó (60% de proteína). As emulsões foram submetidas a secagem por atomização em um spray-dryier Lab Plant SD-05 utilizando temperatura de entrada e de saída do ar de 120°C e 65°C-70°C, respectivamente, e pressão do ar comprido de 0,7 bar. A eficiência de microencapsulação foi avaliada através de destilação do óleo essencial retido usando aparelho tipo Clevenger durante 1h. A estrutura das microparticulas foi observada em um microscópio óptico Standard 20 – Zeiss. Verificou-se que dos materiais de parede testados a goma arábica e a maltodextrina foram os mais adequados para o encapsulamento do óleo essencial de citronela por spray drying, obtendo micropartículas com maior retenção do óleo essencial e formato esférico.*

***Palavras chave:*** *micropartículas, spray drying, citronella, óleo essencial*

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de citronela se destacou no Brasil, devido ao aumento na produção do óleo essencial para atender as demandas do mercado interno e externo. O óleo extraído de suas folhas é rico em aldeído citronelal (aproximadamente 40%) e álcoois monoterpênicos geraniol (entre 15-20%), citronelol (entre 20–25%) além de pequenas quantidades ésteres, mono e sesquiterpenos e álcoois terciários. Sendo o citronelol um excelente aromatizante de ambientes e repelente de insetos, além de apresentar ação antimicrobiana e acaricida (MARCO et al., 2007, PAROUL et al., 2012).

Os compostos monoterpênicos presentes no óleo de citronela como o limoneno, citronelal, geraniol e neral atuam na defesa química da planta contra a ação de predadores. O geraniol também possui atividade antisséptica, inibindo o crescimento de fungos e bactérias (CASTRO et al., 2010).

O principal limitante na utilização dos óleos essenciais é a volatilidade dos seus principais componentes, além de serem quimicamente instáveis na presença de oxigênio, umidade e calor (FERNANDES et al., 2014). Uma alternativa para utilização dos compostos voláteis é a técnica de microencapsulação que é bastante utilizada devido as características que atribui ao produto como: reter um líquido em uma matriz sólida de modo a facilitar sua manipulação, transporte e adição em formulações; separar materiais reativos; reduzir toxicidade do material ativo; promover liberação controlada do ativo encapsulado; reduzir volatilidade ou flamabilidade de líquidos; mascarar sabor e odor de determinados componentes; aumentar a vida de prateleira; e proteger contra a luz, umidade e calor (FAVARO-TRINDADE et al., 2008).

A microencapsulação é um método físico que permite que gotículas ou partículas sejam retidas em um filme formado pelo material da parede, estabelecendo assim uma barreira física entre os compostos ativos e as condições ambientais adversas (CARVALHO et al., 2014).

A técnica de microencapsulação por *spray drying* é a mais utilizada para formar micropartículas de compostos voláteis, sendo uma operação de processamento contínuo e relativamente simples. A eficiência da microencapsulação por *spray drying*, depende da obtenção de alta retenção do material do núcleo durante o processamento e o armazenamento. No entanto, a retenção dos voláteis está relacionada a fatores como as propriedades dos compostos voláteis, do material de parede, da emulsão e das condições do processo (FERNANDES et al., 2008).

Os materiais de parede podem ser selecionados a partir de uma grande variedade de polímeros naturais e sintéticos, sendo a sua principal finalidade a proteção do material do núcleo. Esses compostos geralmente são protetores hidrofílicos e/ou grupos hidrofóbicos, cuja seleção depende do material do núcleo e as características desejadas das microcápsulas, tais como, a natureza e a estabilidade do material a ser encapsulado e as características do polímero encapsulante (CARMO et al., 2015).

No processo de microencapsulação por *spray drying* a escolha do material da parede é uma etapa crítica, uma vez que irá influenciar as propriedades da emulsão antes da secagem, retenção dos voláteis durante o processo e vida útil do pó encapsulado após a secagem. Os principais materiais de parede utilizados para aplicações de secagem por atomização são carboidratos, incluindo amidos modificados e hidrolisados, derivados de celulose, gomas e ciclodextrinas; proteínas incluindo proteína de soro de leite, caseinatos e gelatina; e novos biopolímeros (JAFARI et al., 2008).

A goma arábica é um dos materiais de parede mais utilizados para a microencapsulação de compostos hidrofóbicos por *spray drying*, devido a sua boa propriedade emulsificante, alta solubilidade e baixa viscosidade. Apesar de suas propriedades desejáveis como agente encapsulante, a goma arábica é um ingrediente caro e sua produção é susceptível as condições climáticas e questões políticas, resultando em alguns problemas de fornecimento. Por isso, o grande número de pesquisas utilizando a goma com outros materiais mais baratos e acessíveis (BÖGER et al., 2018).

A maltodextrina é um amido hidrolisado amplamente utilizado, considerando seu desempenho satisfatório, sabor suave e baixo custo. A alta solubilidade em água da maltodextrina contribui para uma redução significativa da viscosidade aparente das gotículas, o que é favorável no processo de secagem por atomização. O maior problema da utilização desse material de parede é a falta de propriedade emulsificante devido sua limitada afinidade por componentes hidrofóbicos, sendo comum a utilização da maltodextrina em combinação com outros materiais de parede que apresentem boa capacidade de emulsificação (CARNEIRO et al., 2011; ZHANG et al., 2018).

Entre as proteínas, as proteínas do soro de leite demonstraram ser um excelente material de parede para a microencapsulação de óleos/gorduras e voláteis (BAE; LEE, 2008). Estas proteínas além de possuírem alto valor biológico, possuem peptídeos bioativos, que atuam como agentes antimicrobianos, anti-hipertensivos, reguladores da função imune, assim como fatores de crescimento (HARAGUCHI et al., 2006).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi obter micropartículas através da técnica *spray drying* utilizando diferentes materiais de parede e óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus*), visando avaliar a estutura das micropartículas e a eficiência do processo de microencapsulação.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o preparo das emulsões foram utilizados: Óleo essencial de citronella adquirido da empresa Ferquima Ind. e Com. Ltda; goma arábica (GA), adquirida da empresa Dinâmica Química Contemporânea Ltda; maltodextrina (MD), doada pela empresa Ingredion Brasil Ing. Ind. Ltda.; concentrado proteico de soro de leite em pó com 60% de proteína (CP), doado pela empresa Sooro Concentrado Indústria de Produtos Lácteos Ltda. e Álcool Etílico P.A (99%) adquirido da empresa Êxodo Cientifica.

### 2.1 Preparo das emulsões

A obtenção das emulsões foi realizada através da metodologia citada por Barbosa (2009), com algumas modificações, utilizou-se 10% de óleo (p/v). Primeiramente, solubilizou-se em 160 mL de água destilada a 60°C os materiais de parede 40% (p/v) na proporção 1:1 em diferentes combinações: Goma arábica e maltodextrina, goma arábica e concentrado proteico de soro de leite em pó (60% de proteína) e maltodextrina e concentrado proteico de soro de leite em pó (60% de proteína). Sendo mantida a mistura sob agitação manual a 70°C em banho ultratermostático Q214M2 (Quimis) até total solubilização dos materiais de parede. Após dissolveu-se o óleo em 40 mL de etanol e adicionou-se na solução contendo os materiais de parede na temperatura de 30°C. Para que ocorra a formação da emulsão, a solução foi homogeneizada em Agitador IKA RW 20 digital (Multitec) a 1200 rpm por 30 min.

### 2.2 Microencapsulamento por *Spray drying*

As emulsões foram submetidas a secagem por atomização em um spray-dryier Lab Plant SD-05, com bico injetor de 0,5 mm de diâmetro. A alimentação foi realizada através de uma bomba peristáltica, durante o processo de secagem a emulsão ficou sob agitação em banho de ultrassom USC – 1800A (Unique) com frequência de 40 Hz e potência

máxima de 90 W em temperatura ambiente. A temperatura de entrada e de saída do ar de 120°C e 65°C-70°C, respectivamente, e pressão do ar comprido de 0,7 bar.

### 2.3 Avaliação da eficiência de microencapsulação

A retenção de óleo nas micropartículas foi determinada utilizando o método descrito por Garcia (2013), com algumas modificações. Foi misturado 5g do encapsulado com 150 mL de água destilada, a temperatura de 50°C. A destilação da solução foi realizada em aparelho tipo Clevenger, por 1h. O volume do óleo destilado (óleo total da amostra) foi multiplicado pela densidade do óleo essencial de citronela (0,887 g/cm3) para obter a massa do óleo retido.

$$EM\ (\%) = \frac{Óleo_{retido}}{Óleo_{inicial}} \times 100 \quad (1)$$

Onde: Óleo retido é o volume de óleo (cm3) obtido depois da destilação x densidade do óleo de citronela (g/cm3) e óleo inicial é a quantidade de óleo presente na massa inicial de amostra (5g).

### 2.4 Determinação do diâmetro médio das micropartículas por microscopia

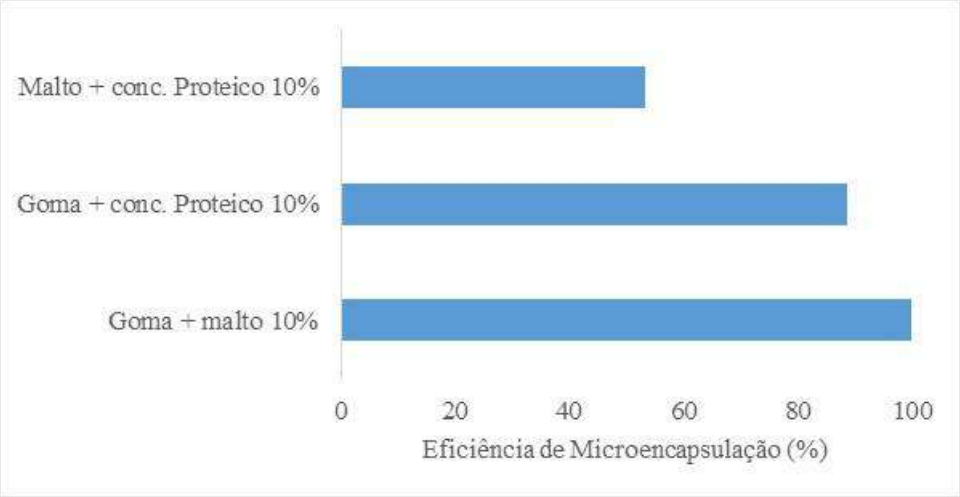
A estrutura das micropartículas foi observada em um microscópio óptico Standard 20 – Zeiss, utilizando uma lente objetiva com aumento de 40x para avaliação qualitativa. Uma pequena quantidade de amostra foi depositada em uma lâmina de vidro com auxílio de um pincel, com posterior sobreposição de uma lamínula para facilitar a visualização no microscópio. Após as imagens foram analisadas no software Image-Pro Plus 6.0 utilizando zoom de 25%, para determinação do diâmetro médio das micropartículas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Avaliação da eficiência de microencapsulação

Para a verificação da eficiência de encapsulação, utilizou-se a quantidade inicial de óleo na emulsão e sua relação com o teor de óleo encontrado nas micropartículas, os resultados estão representados na Figura 1.

Figura 1. Eficiência de microencapsulação (%) das micropartículas com diferentes materiais de parede obtidas por *spray drying*.




As micropartículas de MD + CP 10% OE apresentaram a menor eficiência de microencapsulação de 53,22%, o que pode ser justificado pelo fato de emulsão apresentar a fluidez similar da água (baixa viscosidade) o que pode ter interferindo na retenção do óleo. Segundo Jafari et al. (2007), a possível explicação para baixa eficiência de microencapsulação do concentrado proteico do soro pode ser a desnaturação e mudança estrutural durante os processos de emulsificação e secagem por *spray drying* e, portanto, menor capacidade de reter e encapsular os materiais de interesse.

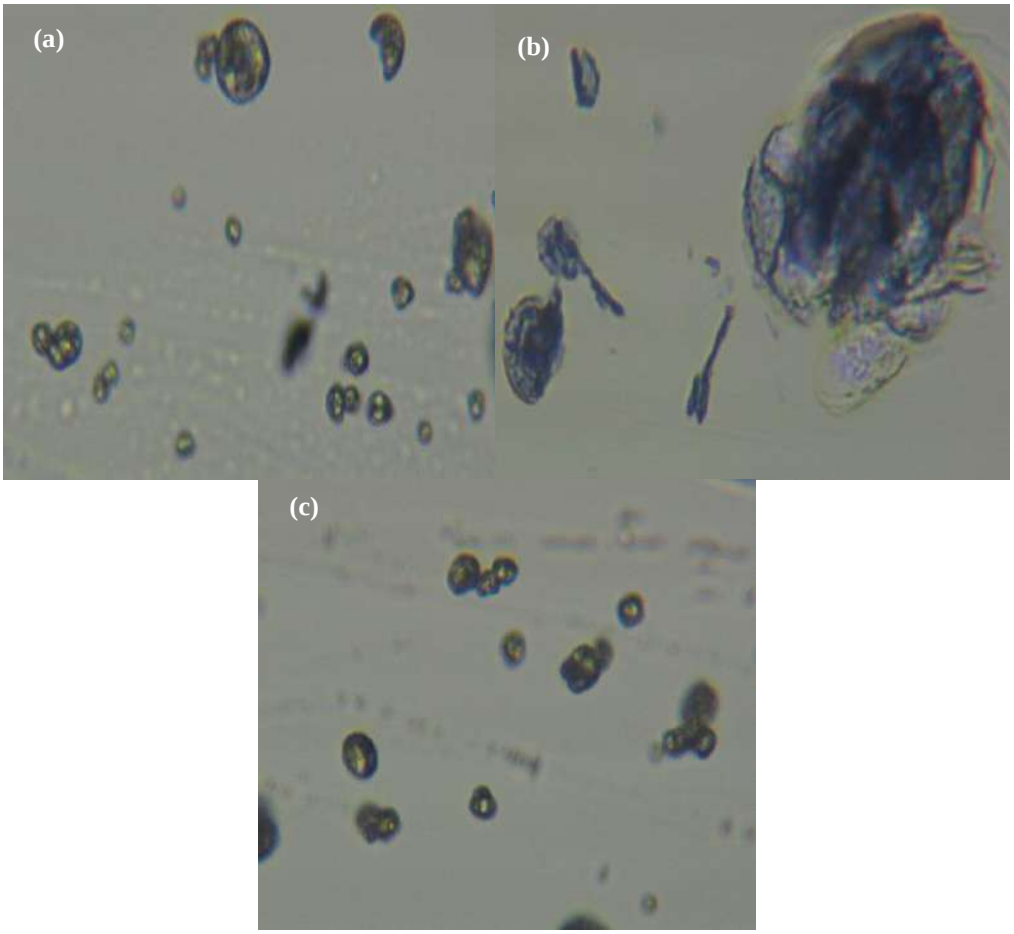
A combinação de GA + CP 10% OE apresentou eficiência de 88,70%, sendo importante ressaltar que esta amostra apresentou maior quantidade de óleo livre na superfície das micropartículas comprometendo a estabilidade e a vida útil

do produto. Desta forma o melhor resultado foi obtido utilizando GA + MD 10% OE, sendo possível obter 100% de eficiência de encapsulação.

### 3.2 Determinação do diâmetro médio das micropartículas por microscopia

A morfologia das micropartículas foi analisada empregando-se a técnica de Microscopia Óptica e o diâmetro médio foi determinando utilizando software específico. Na Figura 2 constam as imagens das micropartículas obtidas com os diferentes materiais de parede.

Figura 2. Microscopia óptica das micropartículas com aumento de 400 vezes, onde: (a) goma arábica + maltodextrina 10% OE, (b) goma arábica + concentrado proteico + 10% OE e (c) maltodextrina + concentrado proteico + 10% de OE.




Pode-se observar na imagem das micropartículas de GA + MD 10% OE (a), a predominância do formato esférico com variações de tamanho e diâmetro médio da partícula de 0,402 mm ± 0,12. No caso da amostra (b) de GA + CP 10% OE as micropartículas não apresentaram formato definido, observou-se um alto grau de aglomeração e diâmetro médio da partícula de 0,549 mm ± 0,20. Na imagem (c) da amostra MD + CP 10% OE foi observado um comportamento semelhante a amostra de GA + MD 10% OE, com partículas com diâmetro médio de 0,377 mm ± 0,11 e de formato esférico.

A amostra que apresentou maior variação no formato das partículas (GA + CP 10% OE), é a que apresentou um aspecto mais viscoso na emulsão. Segundo Fernandes et al. (2008), partículas não esféricas podem ser produzidas como resultado da tentativa de atomizar uma alimentação muito viscosa ou uso de parâmetros operacionais inadequados, sendo que os fatores determinantes na forma e na morfologia das partículas são a taxa de evaporação das gotas e composição da formulação. O diâmetro médio das partículas variou de 0,377 a 0,549 mm, estando dentro da faixa de tamanho esperado para micropartículas.

## 4. CONCLUSÃO

Verificou-se que dos materiais de parede testados a goma arábica e a maltodextrina foram os mais adequados para o encapsulamento do óleo essencial de citronela por *spray drying*, obtendo micropartículas com maior eficiência de microencapsulação e formato esférico. Uma das maiores limitações na aplicação dos óleos essenciais é alta volatilidade, neste sentindo o método de secagem por *spray drying* mostrou-se eficiente na retenção do óleo, garantindo assim uma maior estabilidade e facilidade de aplicação.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e URI pela concessão de bolsas e/ou apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

Bae, E. K.; Lee, S. J., 2008. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, v. 25, n. 8, p. 549–560.

Barbosa, M. I. M. J. *Microcápsulas de bixina: Obtenção, aplicação e estudos de fotodegradação em sistemas-modelo*. 2009. 133f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

Böger, B. R.; Georgetti, S. R.; Kurozawa, L. E, 2018. Microencapsulation of grape seed oil by spray drying. *Food Science and Technology*, Campinas, v. 38, n. 2, p. 263-270.

Carmo, E. L.; Fernandes, R. V. B.; Borges, S. V, 2015. Microencapsulação por spray drying, novos biopolímeros e aplicações na tecnologia de alimentos. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, v. 01, n. 02, p. 30-44.

Carneiro, H. C. F.; Tonon, R. V.; Grosso, C. R. F.; Hubinger, M. D, 2011. Efeito da utilização de combinações de materiais de parede nas propriedades das emulsões e partículas e na eficiência da encapsulação do óleo de linhaça. Congreso Iberoamericano de ingeniería de alimentos, Lima. Llave de la innovación. 28 Jan. 2019 <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/917108>.

Carvalho, A. G. S.; Silva, V. M.; Hubinger, M. D, 2014. Microencapsulation by spray drying of emulsified green coffee oil with two-layered membranes. *Food Research International*, v. 61, p. 236-245.

Castro, H. G.; Perini, V. B. M.; Santos, G. R.; Leal, T. C. A. B, 2010. Avaliação do teor e composição do óleo essencial de Cymbopogon nardus (L.) em diferentes épocas de colheita. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 308-314.

Favaro-Trindade, C. S.; Pinho, S. C.; Rocha, G. A, 2008. Revisão: Microencapsulação de ingredients alimentícios. *Brazilian Journal Food Technology*, Campinas, v. 11, n. 2, p. 103-112.

Fernandes, L. P.; Turatti, I. C. C.; Lopes, N. P.; Ferreira, J. C.; Candido, R. C.; Oliveira, W. P, 2008. Volatile retention and antifungal properties of spray-dried microparticles of Lippia sidoides essencial oil. *Drying Technology: An International Journal*, v. 26, n. 12, p. 1534-1542.

Fernandes, R. V. B. F.; Borges, S. V.; Botrel, D. A, 2014. Gum Arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, v. 101, p. 524–532.

Garcia, L.C. *Microencapsulação por spray-drying de óleo essencial de manjericão*. 2013. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

Haraguchi, F. K., Abreu, W. C., Paula, H, 2006. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 19, n. 4, p. 479-488.

Jafari, S. M., He, Y., Bhandari, B, 2007. Encapsulation of nanoparticles of d-limonene by spray drying: Role of emulsifiers and emulsifying techniques. *Drying Technology*, v. 25, p. 1079–1089.

Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B, 2008. Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray-drying. *Drying Technology*, v. 26, p. 816-835.

Marco, C. A.; Innecco, R.; Mattos, S. H.; Borges, N. S. S.; Nagao, E. O, 2007. Características do óleo essencial de capim-citronela em função de espaçamento, altura e época de corte. *Horticultura Brasileira*. Brasília, v. 25, n. 3, p. 429-432.

Paroul, N; Grzegozeski, L.P.; Chiaradia, V.; Treichel, H.; Cansian, R.L.; Oliveira, J.V.; Oliveira, D, 2012. Solvent-Free Production of Bioflavors by enzymatic Esterification of Citronella (Cymbopogon winterianus) Essential Oil. *Applied Biochemistry and. Biotechnology*, v. 166, p. 13–21.

Singh, M. N.; Hemant, K. S. Y.; Ram, M.; Shivakumar, H. G, 2010. Microencapsulation: a promising technique for controlled drug delivery. *Research in Pharmaceutical Sciences*, v. 5, n. 2, p. 65-77.

Zhang, L.; Zeng, X.; Fu, N.; Tang, X.; Sun, Y.; Lin, L, 2018. Maltodextrin: A consummate carrier for spray-drying of xylooligosaccharides. *Food Research International*, v. 106, p. 383–393.

## 7. RESPONSIBILITY NOTICE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CARACTERIZAÇÃO PARCIAL DE FRUTOSILTRANSFERASE E B-FRUTOFURANOSIDASE PRODUZIDAS POR *ASPERGILLUS NIGER* ATCC 9642 EM CULTIVO SUBMERSO

**Marília Dequi Vendruscolo***
**Simone Salete Saggiorato Dal Maso**
**Leonardo Meirelles da Silva**
**Thais Comin**
**Gabriela de Bastos**
**Rosicler Colet**
**Rogério Marcos Dal Lago**
**Jamile Zeni**
**Geciane Toniazzo Backes**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, Av. Sete de Setembro, 1621 – Erechim, RS – Brasil.
*maajordanaa@gmail.com
simone.dalmaso98@gmail.com
leonardomeirelesdasilva@gmail.com
th-thais@hotmail.com
gabrieladebastos@outlook.com
rosicler.colet@yahoo.com.br
dallago@uricer.edu.br
jamilezeni@uricer.edu.br
gtoniazzo@uricer.edu.br

**Resumo:** *Diante do interesse biotecnológico e industrial das enzimas Frutosiltransferase (FTase) e β-frutofuranosidadase (FFase), o objetivo deste trabalho foi caracterizar parcialmente as enzimas β-frutofuranosidase (FFase) e frutosiltransferase (FTase) frente a valores de temperatura e pH ótimos. Essas enzimas apresentam capacidade de transformar dissacarídeos em frutoligossacarídeos (FOS) os quais são de interesse comercial pois fazem parte de um grupo de prebióticos com alta importância. A caracterização foi feita a partir de parâmetros como produção de frutosiltransferase (FTase) e β-frutofuranosidase (FFase) por fungos filamentosos Aspergillus niger ATCC 9642 e Penicillium brasilianum em cultivo submerso com variação da composição do meio de produção, concentração de esporos, tempo, temperatura e pH. O cálculo de atividade enzimática baseou-se, inicialmente, na reação de hidrólise da sacarose, formando glicose e frutose. A determinação do pH e temperaturas ótimos foi realizada a partir de um delineamento composto central rotacional (DCCR) $2^2$. Calcula-se a atividade enzimática frente a reação de hidrólise da sacarose, formando glicose e frutose. Os resultados indicam que a A FTase e a FFase apresentaram pH e temperatura ótimos de 2,39 e 60 °C, respectivamente. A determinação de tais parâmetros é indispensável e permite a utilização para posteriores estudos.*

***Palavras-chave:*** *frutosiltransferase, β-frutofuranosidase, Aspergillus niger ATCC 9642, cultivo submerso.*

## 1. INTRODUÇÃO

A busca eminente pela maior longevidade, a qual cresce de forma significativa, constitui uma via para desenvolvimento de estudos nesse âmbito. De modo a utilizar componentes alimentares favoráveis ao organismo, é deveras importante entender seu comportamento em diferentes condições e parâmetros a partir da experimentação.

As enzimas são proteínas as quais têm como função, entre outras, acelerar a quebra de moléculas de alguns compostos. As β- frutofuranosidases (Ffase) ou frutosiltransferases (FTase), também chamadas de invertases (ANTOŠOVÁ & POLAKOVIČ, 2001; GHAZI et al., 2007), devido sua capacidade de transformar oligossacarídeos em frutoligossacarídeos (FOS) são altamente utilizadas em escala industrial. Devido as suas propriedades físico-químicas, a aplicação e produção de FOS tem gerado grande interesse comercial, visto que constitui um grupo importante de probióticos (ALMÉCIGA-DÍAZ et al., 2011). Essas enzimas possuem grande importância industrial além da produção de FOS, como na fabricação de colutórios para higiene bucal (UMA et al., 2010, hidrólise de açúcares como rafinose,

gentianose e inulina (RUBIO et al., 2002), nas indústrias sucroalcooleiras para remoção da sacarose de resíduos líquidos e na produção do etanol (VITOLO, 2004).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar parcialmente as enzimas β-frutofuranosidase (FFase) e frutosiltransferase (FTase) frente a valores de temperatura e pH ótimos para determinação da FFase em UF (unidade atividade de frutofuranosidase) e FTase em UTF (unidade atividade de frutosiltransferase).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Micro-organismos

O fungo filamentoso *Aspergillus niger* ATCC 9642 utilizado é procedente do banco de cepas do Laboratório de Biotecnologia de Alimentos da URI Campus Erechim-RS.

#### 2.1.1 Bioprodução de FTase e FFase em cultivo submerso

A bioprodução da FTase e FFase se deu em meio composto por 20 % sacarose, 0,5 % extrato de levedura, NaNO3 1 %, MgSO4 .7H2O 0,05 %, KH2PO4 0,25 %, NH4Cl 0,5 %, NaCl 0,25 % com concentração de esporos igual a 5x107 esporos/mL, pH 5,5, 25°C, 150rpm e 48 horas de bioprodução.

### 2.2 Caracterização Parcial da FTase e FFase

#### 2.2.1 Temperatura e pH ótimos

Para a determinação dos valores ótimos de pH e temperatura para as enzimas FTase e FFase foi realizado um delineamento composto central rotacional (DCCR) $2^2$ , onde o pH variou de 2,39 a 6,62 e a temperatura de 38,45 a 81,5 °C (Tabela 2). Para o ajuste do pH do extrato, foi utilizado o tampão acetato de potássio 0,05M.

Tabela 1. Variáveis e níveis utilizados no planejamento fatorial completo $2^2$ de temperatura e pH ótimos das enzimas frutosiltransferase (FTase) e β-frutofuranosidase (FFase).

| | | Níveis | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Variáveis independentes* | Códigos | -1,41 | -1 | 0 | +1 | +1,41 |
| pH | $X_1$ | 2,39 | 3 | 4,5 | 6 | 6,62 |
| Temperatura (°C) | $X_2$ | 38,45 | 45 | 60 | 75 | 81,15 |

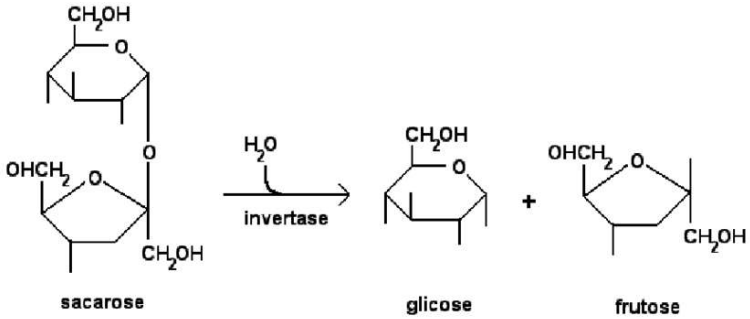
Variáveis independentes fixas: meio de bioprodução (20 % sacarose, 0,5 % extrato de levedura, $NaNO_3$ 1 %, $MgSO_4$ .$7H_2O$ 0,05 %, $KH_2PO_4$ 0,25 %, $NH_4Cl$ 0,5 %, NaCl 0,25), 5 x $10^7$ esporos/mL, agitação em 150 rpm, temperatura 25 °C, pH de 5,5 e 48 h de produção.

### 2.2 Determinação Da Atividade Enzimática

Para a determinação da atividade enzimática da frutosiltransferase (FTase) e a frutofuranosidase (FFase), inicialmente adicionou-se 4,5 mL de substrato (solução de sacarose 60 % em tampão de acetato de potássio 0,05 M a pH 4,5), em tubos ensaio, posteriormente 0,5 mL do extrato enzimático bruto foi adicionado e incubou-se a 60 ºC por 30 min banho incubador (Nova Ética) a 125 rpm. Um controle reacional foi realizado nas mesmas condições, porém sem sacarose. Após o tempo determinado, alíquotas de 10 µL do meio reacional foram retiradas para determinar a concentração de glicose empregando o Kit enzimático glicose-oxidase (Glicose WS, Kovalent) e 2 mL para quantificar açúcares redutores pelo Método Somogyi-Nelson (NELSON, 1944; SOMOGYI, 1945).

O cálculo de atividade enzimática baseia-se, inicialmente, na reação de hidrólise da sacarose, formando glicose e frutose, segundo a reação apresentada na Figura 1.

Figura 1. Mecanismo de ação das enzimas na hidrólise da sacarose




Fonte: PASCHOALIM (1990) e CABRAL (2012).

Tal reação também pode ser descrita na Equação 3.

$$AR = G + F \quad (1)$$

Onde AR: açúcares redutores/sacarose; G:glicose; F: frutose.

A enzima denominada β-frutofuranosidase (FFase) fornece a atividade conhecida como UF (unidade de frutofuranosidase), representando a quantidade de sacarose hidrolisada por unidade de tempo e volume, sendo expressão em µmol/min.mL (HERNALTEENS et al., 2008).

Para se ter o valor de UF (unidade atividade de frutofuranosidase) deve-se determinar a quantidade de glicose presente no meio reacional, visto que a glicose é um dos produtos da hidrólise da sacarose. Portanto, tem-se que a atividade de frutofuranosidase (FFase) é determinada segundo a Equação 2.

$$UF = G \quad (2)$$

A enzima chamada frutosiltransferase (FTase) é descrita por UTF (unidade de atividade de frutosiltransferase), que representa a quantidade de frutose transferida por unidade de tempo e volume, sendo expressa em µmol/min.mL.

Por meio da Equação 3, tem-se que a frutose presente no meio reacional é definida conforme equação 5:

$$F_{meio} = AR - G \quad (3)$$

Já a frutose transferida é a diferença entre a glicose e a frutose do meio, Equação 6:

$$F_t = G - F_{meio} \quad (4)$$

Ao unir as Equações 4 e 5, tem-se a equação final que representa a quantidade de frutose transferida, equivalendo com a atividade de transfrutosilação (Equação 7).

$$UTF = 2G - AR \quad (5)$$

Onde 2G indica a quantidade teórica de açúcar redutor e AR a quantidade real de açúcar redutor presente no meio, determinada pelo método de Somogyi-Nelson, de modo que a diferença entre ambos indica a frutose que foi transferida.

### 2.3 Análise Estatística

Os resultados obtidos no planejamento de experimentos foram tratados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) com 95 % de confiança, utilizando o software *STATISTIC* versão 5.0 (StatSoft Inc., EUA). Os demais resultados foram tratados pelo teste de Tukey. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização Parcial da FTase e FFase

#### 3.1.1 Temperatura e pH ótimos

Os valores de temperatura e pH ótimos do extrato enzimático bruto produzido por *A. niger* ATCC 9642 em cultivo submerso, nas condições maximizadas (20 % sacarose, 0,5 % extrato de levedura, $NaNO_3$ 1 %, $MgSO_4$ .$7H_2O$ 0,05 %, $KH_2PO_4$ 0,25 %, $NH_4Cl$ 0,5 %, NaCl 0,25 % a pH 5,5, temperatura de 25 °C, tempo de 48 h e concentração de esporos 5 x $10^7$ esporos/mL), foram definidos por (DCCR) $2^2$ (3 pontos centrais) e estão descritos na Tabela 4.

As maiores atividades foram de 27,86 µmol/min.mL e 24,86 µmol/min.mL e 27,30 µmol/min.mL e 28,68 µmol/min.mL, para FTase e FFase, em pH de 3,0 e 2,39 e temperatura de 75 e 60 ºC (ensaios 3 e 5), respectivamente. Analisando as variáveis de forma independente, constata-se que a diminuição de pH favorece o aumento da atividade (ensaios 3 e 4) e de que o aumento da temperatura (ensaios 1 e 3) promove este mesmo efeito, o que pode ser comprovado pela Tabela 5 e 6.

Verificou-se que o ensaio 5 na condição de pH 2,39 e temperatura de 60 °C apresentou maior atividade de FFase (13,86%) em relação ao ensaio 3 na condição de pH 3,0 e temperatura de 75 °C, optou-se por dar continuidade ao estudo com as condições do ensaio 5, levando em consideração também a redução do gasto energético.

Tabela 2. Matriz do (DCCR) $2^2$ com valores codificados (reais) e respostas em atividade de FTase e FFase em função de temperatura e pH ótimos.

| Ensaio | *Variáveis independentes | | Atividade de FTase (µmol/min.mL) | Atividade de FFase (µmol/min.mL) |
|---|---|---|---|---|
| | $X_1$ pH | $X_2$ Temperatura (°C) | | |
| 1 | -1 (3,0) | -1 (45) | 6,98 | 4,43 |
| 2 | 1 (6,0) | -1 (45) | 3,41 | 4,63 |
| 3 | -1 (3,0) | 1 (75) | 27,86 | 24,86 |
| 4 | 1 (6,0) | 1 (75) | 3,22 | 3,74 |
| 5 | -1,41 (2,39) | 0 (60) | 27,30 | 28,68 |
| 6 | 1,41 (6,62) | 0 (60) | 6,28 | 7,33 |
| 7 | 0 (4,5) | -1,41 (38,45) | 5,02 | 6,67 |
| 8 | 0 (4,5) | 1,41(81,15) | 3,28 | 4,59 |
| 9 | 0 (4,5) | 0 (60) | 10,72 | 9,32 |
| 10 | 0 (4,5) | 0 (60) | 12,97 | 10,55 |
| 11 | 0 (4,5) | 0 (60) | 11,00 | 9,41 |

Variáveis independentes fixas: meio de bioprodução (20 % sacarose, 0,5 % extrato de levedura, $NaNO_3$ 1 %, $MgSO_4$ .$7H_2O$ 0,05 %, $KH_2PO_4$ 0,25 %, $NH_4Cl$ 0,5 %, NaCl 0,25), 5 x $10^7$ esporos/mL, 150 rpm, 25 °C, pH de 5,5 e 48 h.

As Equações 7 e 8 apresentam os modelos codificados de segunda ordem que descrevem a atividade de FTase e FTase em função das variáveis analisadas (temperatura e pH), dentro das faixas estudadas, respectivamente. Os modelos foram validados pela análise de variância (Tabela 3) onde obteve-se coeficientes de correlação de 0,95 e 0,94 e F calculado de 2,07 e 1,44 vezes maior que o valor de F tabelado, os quais permitiram a validação dos modelos e a construção das curvas de contorno apresentadas na Figura 2.

Tabela 3. Análise de variância para atividade de FTase e FFase do planejamento fatorial completo $2^2$ em função de temperatura e pH ótimos.

| **Fontes de Variação** | **Soma dos quadrados** | **Graus de liberdade** | **Quadrados médios** | **F calculado** |
|---|---|---|---|---|
| | | **FTase** | | |
| Regressão | 734,86 | 5 | 146,97 | 10,47 |
| Resíduo | 70,18 | 5 | 14,04 | |
| Falta de ajuste | 67,17 | 3 | | |
| Erro puro | 3,00 | 2 | | |
| Total | 805,04 | 10 | | |
| | | **FFase** | | |
| Regressão | 629,30 | 5 | 125,86 | 7,28 |
| Resíduo | 86,50 | 5 | 17,30 | |
| Falta de ajuste | 85,55 | 3 | | |
| Erro puro | 0,94 | 2 | | |
| Total | 715,79 | 10 | | |

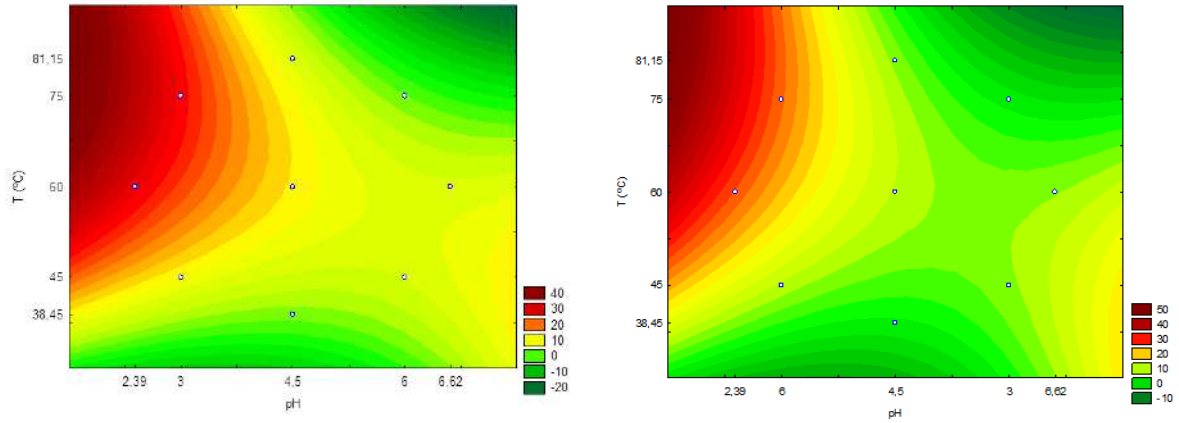
Resíduos=Falta de ajuste + erro puro; F tabelado=5,05

$$FTase = 11,56 - 7,25\ pH + 2,60\ pH^2 + 2,28\ T - 3,75\ T^2 - 5,26\ pH.T \quad \text{(Eq. 7)}$$

$$FFase = 9,77 - 6,40\ pH + 3,53\ pH^2 + 2,08\ T - 2,69\ T^2 - 5,33\ pH.T \quad \text{(Eq. 8)}$$

Onde: UTF é a unidade de atividade de frutosiltransferase (FTase), UF é a unidade atividade de β-frutofuranosidase (FFase) e T é igual a temperatura (°C).

Figura 2. Curva de contorno para atividade de FTase (a) e de FFase (b) em função da temperatura (°C) e pH ótimos.




(a) (b)

Com base nos dados obtidos na Figura 2, pode-se observar que o melhor valor de pH para ambas as enzimas é em torno de 2,39 e a temperatura situa-se na faixa de 60 a 81,15 °C.

Os resultados de temperatura ótima para as enzimas FFase e FTase obtidos nestes trabalhos diferem dos resultados reportados na literatura. Marquez (2007), apresenta resultados onde as temperaturas acima 70 °C desnaturaram a enzima fazendo com que a atividade enzimática tenha uma queda significativa. Estudos de Madlová et al. (2000) comprovaram que FTases de *Aureobasidium pullulans* foram rapidamente inativadas quando submetidas a temperaturas maiores que 60 ºC, mesmo quando em presença de elevadas concentrações de substrato.

## 4. CONCLUSÃO

As invertases são de grande utilidade em escala industrial na produção de FOS. Esse fenômeno gera grande interesse biotecnológico devido a atuação dessas enzimas em processos como a remoção da sacarose em resíduos líquidos, evitando a cristalização do açúcar.

Dessa maneira, caracterizar parcialmente as enzimas FFase e FTase bem como avaliar seu pH e temperatura ótimos, potencializa a produção dessas bem como a atividade enzimática aliada a outros parâmetros estudados.

Os experimentos realizados mostraram que o melhor valor de pH para ambas as enzimas é em torno de 2,39 e a temperatura situa-se na faixa de 60 a 81,15 °C. Nessas condições obteve-se atividades de 27,86 μmol/min.mL e 24,86 μmol/min.mL e 27,30 μmol/min.mL e 28,68 μmol/min.mL, para FTase e FFase, respectivamente.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a URI – Campus Erechim, CAPES e CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS

ALEGRE, A. C. P.et al. Production of thermostable invertases by Aspergillus caespitosus under submerged or solid state fermentation using agroindustrial residues as carbon source. Brazilian Journal of Microbiology, v. 40, p. 612-622, 2009.

ALMÉCIGA-DÍAZ, C. J., GUTIERREZ, A. M., BAHAMOS I.; et al. Computation Analisys of the fructosyltransferase enzymes em plants, fungi e bacterias. Gene, v. 484, n. 1-2, p. 36-44, 2011.

ANTOŠOVÁ, M.; POLAKOVIČ, M. Fructosyltransferases : The Enzymes Catalyzing production of fructooligosacharides. Chemical Papers – Chemicke Zvesti, v. 55, p. 350–358, 2001.

BON, E. P. S. et al. Bioprocessos para produção de enzimas. In: BON, E. P. S Enzimas em biotecnologia, produção, aplicações e mercado. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. v. 1, cap. 5, p. 95-120, 2008.

GANAIE, M. A.; GUPTA, U. S.; KANGO, N. Screening of biocatalysts for transformation of sucrose to fructooligosaccharides. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, v.97, p. 12–17, 2013.

GANAIE, M. A. et al Screening of low cost agricultural wastes to maximize the fructosyltransferase production and its applicability in generation of fructooligosaccharides by solid state fermentation. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 118, p. 19 - 26, 2017.

GIRALDO, M. A.; SILVA, T. M.; SALVATO, F.; TERENZI, H. F.; JORGE, J. A.; GUIMARÃES, L. H. S. Thermostable invertases from Paecylomyces variotii produced under submerged and solid-state fermentation using agroindustrial residues. World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 28, p. 463-472, 2012.

GHAZI, I. et al. Purification and kinetic characterization of a fructosyltransferase from Aspergillus aculeatus. Journal of Biotechnology, v. 128, p. 204–211, 2007.

GUIMARÃES, L. H. S. et al. Production of β-fructofuranosidases by Aspergillus niveus using agroindustrial residues as carbon sources: Characterization of an intracellular enzyme accumulated in the presence of glucose. Process Biochemistry, v. 44, p. 237-241, 2008.

HERNALSTEENS, S.; MAUGERI, F. Purification and characterization of a fructosyltransferase from Rhodotorula sp. Applied Microbiology Biotechnology, v.79, p.589-596, 2008.

MADLOVÁ, A. et al. Thermal stability of fructosyltransferase from *Aureobasidium pullulans*. **Chemical Papers**, v.54, p. 339-344, 2000.

MARQUEZ, L. D. S. **Produção de açúcar invertido pelo uso de invertase imobilizada em resinas**. 2007. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.

NELSON, N. Aphotometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. Journal Biological and Chemical, v.153, p. 375-380, 1944.

RUBIO, M. C.; RUNCO, R.; NAVARRO, A. R. Invertase from a strain of Rhodotorula glutinis. Phytochemstry, v. 61, p.605-609, 2002.

SOMOGYI, M. A. A new reagente for the determination of sugar. Journal of Biological and Chemical, v. 160, p. 61-68, 1945.

UMA, C.; GOMATHI, D.; MUTHULAKSHMI, C.; GOPALAKRISHNAN, V. Production purification and characterization of invertase by Aspergillus flavus using fruit peel waste as substrate. Advances in Biological Research, v.4, n.1, p. 31-36, 2010.

VITOLO, M. Aplicações de enzimas na Tecnologia de Alimentos. In: AQUARE, E. et al. Biotecnologia Industrial: biotecnologia na produção de alimentos. 1. Ed., São Paulo, Edgard Blücher Ltda, v. 4, cap. 14, p. 387-418, 2001.

ZANINETTE, F., 2015. Efeito da concentração de sacarose na produção de frutooligossacarídeos e β-frutofuranosidases por Penicillium janczewskii Zaleski CCIBt 3352. Dissertação Mestrado - Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo/SP.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EFEITO REPELENTE DO ÓLEO ESSENCIAL DE *CINNAMOMUM CASSIA* NO CONTROLE DE INSETOS EM GRÃOS ARMAZENADOS EM MINI SILOS

**Marina Andreia de Souza**
**Julia Lisboa Bernardi**
**Bruna Maria Saorin Puton**
**Mariane Minozzo**
**Natalia Paroul**
**Rogério Luis Cansian**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões - URI- Erechim, Av. Sete de Setembro 1621, Erechim - RS, CEP 99700-000, Brasil.
mariina.2010@hotmail.com
julialisboabernardi@yahoo.com
brunnaputon@hotmail.com
mariane-minozzo@saude.rs.gov.br
nparoul@uricer.edu.br
cansian@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Devido o uso indiscriminado de agentes químicos e as perdas de grãos armazenados, faz-se necessário a busca de novos compostos no controle dos insetos. O controle destes insetos pode ser feito pelo uso de inseticidas naturais. Neste sentido, objetivou-se no presente trabalho avaliar o efeito repelente em mini silos, simulando as proporções de silos graneleiros, do óleo essencial de* Cinnamomum cassia, *no controle de* Sitophilus zeamais. *Os testes para a avaliação de repelência do óleo essencial ocorreram pelo método de mini silos, ocasionando testes mais próximos da realidade. Os mini silos foram preparados com 50g de milho em cada recipiente menos no central. Em dois recipientes laterais foi aplicado o óleo essencial (tratamento) em papel filtro na parte superior e inferior e nos outros dois sem óleo, sendo considerados como testemunha. A partir dos resultados obtidos verificou-se que o óleo tem ação de repelência sobre os* S. zeamais *em todas as doses testadas, com correlação positiva entre as doses de óleo essencial e a atividade de repelência.*

***Palavras chave:*** *óleo essencial,* Sitophilus zeamais, *repelência.*

## 1. INTRODUÇÃO

O milho, dentre os outros cereais, é uma das culturas mais cultivadas, com atualmente 183,73 milhões de hectares cultivados no mundo e uma produção anual de 46 milhões de toneladas (USDA, 2019). O constante crescimento da produção de milho está relacionado ao aumento da produtividade, e as tecnologias desencadeiam papel fundamental para o crescimento da produção do milho (Herrendorf e Schoellman, 2015).

Entretanto, apesar das novas tecnologias, o sistema de produção brasileiro apresenta índices elevados de perdas de qualidade de grãos (Palacin, *et al.*, 2006). No processo pós-colheita ocorrem muitas perdas, sendo que as causas gerais da mesma podem ser devido a fatores que antecedem a colheita (manejo da cultura), fatores de colheita (chuvas, equipamentos) e fatores pós-colheita (secagem e armazenamento). No caso de perdas durante o armazenamento, estas são de grande relevância, pois ocorrem sobre o produto final, já pronto para a comercialização. Diversos fatores são responsáveis por estas perdas em grãos armazenados, sendo um dos mais frequentes a presença de insetos-pragas e fungos (Henning, 2005).

Um dos insetos usualmente encontrados em grãos é os *Sitophilus zeamais* são gorgulhos que atingem de 2 a 3,5mm de comprimento, de coloração castanho-escura, com manchas mais claras nos élitros. Têm a cabeça projetada à frente, na forma de rostro curvado onde se encontram as peças bucais. As larvas são de coloração amarelo-clara, com cabeça de dor marrom-escura, e as pupas são brancas (Gallo, *et al.*, 2002). É uma praga primaria de grande importância, pois pode apresentar infestação cruzada, ou seja, infestam grãos no campo e também em armazéns. Apresenta elevado potencial de reprodução. Tanto larvas como adultos são prejudiciais e atacam grãos inteiros. A postura é feita no interior dos grãos. Os danos ocorrem da redução de peso e de qualidade do grão (Lorini, 2008).

Atualmente, para reduzir essas perdas pré e pós colheitas causada por insetos, os agroquímicos são amplamente utilizados (Kumar, *et al.*, 2017). Constituem um grupo de produtos químicos. Os pesticidas são tóxicos por natureza e

prejudiciais aos organismos vivos, podem deixar resíduos tóxicos nos alimentos e no ambiente (Mostafalou e Abdollahi, 2017).

Na busca por novas inovações, inseticidas botânicos, derivados de plantas ou especiarias estão sendo considerados como bons candidatos para o controle de pragas e alternativas mais ecologicamente corretas (Bullangpoti, *et al*., 2012). A eficiência dos óleos essenciais para o controle de insetos é, em grande parte, devido à sua complexidade e ao potencial de efeitos aditivos ou sinérgicos entre seus compostos (Correa, *et al*., 2015).

A eficiência de várias espécies vegetais contra *S. zeamais* e outros relacionados com grãos pragas foi demonstrada. Óleos essenciais de *Elaeis guineensis* (óleo de palma) (Abulude, *et al*., 2007), *Piper aduncum* e *Piper hispidinervum* (Piperaceae) (Estrela, *et al*., 2006), *Vermonia amigdalya* (Compositae) (Asawalam e Hassanali, 2006), *Eucalyptus* spp (Myrtaceae) (Negahban e Moharramipour, 2007; Mossi, *et al*., 2011), *Ocotea odorifera* (Lauraceae) (Mossi, *et al*., 2014), *Cinnamodendron dinisii* (Vedovatto, *et al*., 2015) foram investigados para o controle de *S. zeamais*. Em todos os casos o inseto era sensível, pelo menos em algum grau, mostrando que *S. zeamais* pode ser controlado com compostos bioativos (Vedovatto, *et al*., 2015).

Neste sentido, busca-se avaliar a possível ação repelente do óleo essencial de canela cássia (*Cinnamomum cassia*) em mini silos como forma de controle do caruncho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) em grãos armazenados. Cabe ressaltar que existe uma lacuna na literatura, não tendo sido encontrado nenhum trabalho utilizando óleo essencial de *C. cassia*, no controle de *S. zeamais*.

## 2. MATERIAL E METODOS

O recipiente central circular usado para este teste mede 13,5 cm de altura por 9 cm de diâmetro (858,8 $cm^3$) e os laterais colocados opostos simetricamente possuíam 6 cm de altura por 4,5 cm de largura (95,4 $cm^3$). Os mini silos foram preparados com 50g de milho em cada recipiente menos no central. Em dois recipientes laterais foi aplicado o óleo essencial (tratamento) sobre um papel filtro na parte superior e inferior dos simuladores de mini silos e nos outros dois sem óleo, sendo considerados testemunha (Figura 1).

A aplicação do óleo essencial em papel filtro colocado somente na parte superior e inferior dos silos simula uma aplicação aplicável em condições normais de uso, garantido que o efeito seja apenas por fumigação e não aplicação direta do mesmo sobre os grãos armazenados. Os vasos que simulam silos (mini silos) apresentam proporções métricas similares a silos graneleiros comerciais, buscando uma condição mais próxima da realidade.

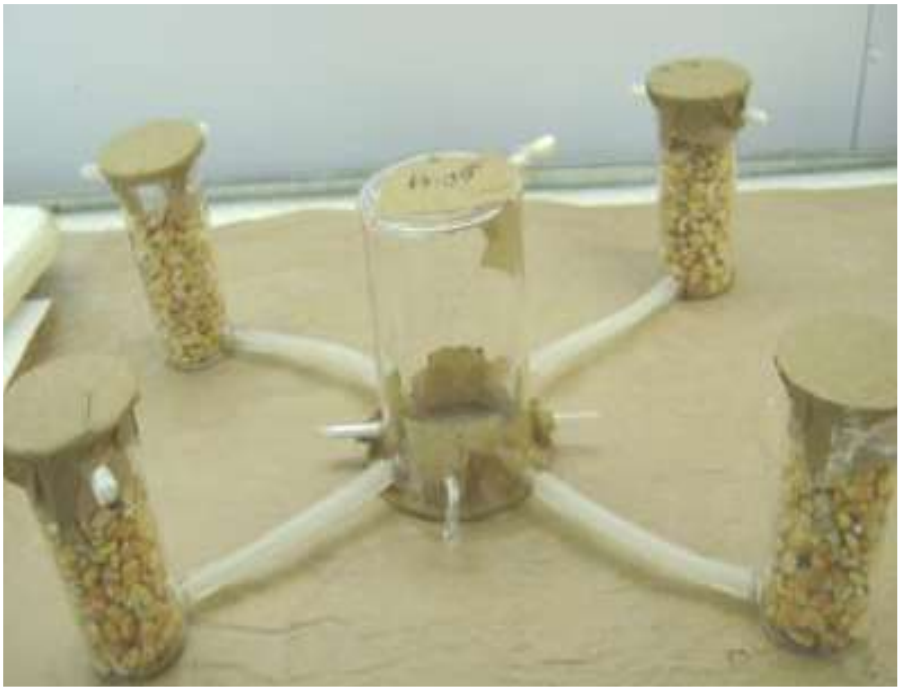


Figura 1 - Mini silos utilizados nos bioensaios para avaliação da repelência.

Foram usados 50 insetos adultos, não sexados, neste teste de repelência. As doses usadas para este teste foram 3000µL, 4000µL, 5000µL, 6000µL, 7500µL e 9000µL ou 31,45, 41,93, 52,41, 62,89, 78,62 e 94,34 µL/$cm^3$. Após 24 horas contaram-se o número de insetos por mini silos. Antes dos experimentos os insetos ficaram por 3 horas sem contato com o substrato alimentar (Tavares e Vendramim, 2005).

Em concomitante, nos dois mini silos em lados opostos foram testados a concentração determinada pelas doses letais calculadas pela avaliação inseticida sendo elas $DL_{30}$, e $DL_{50}$ e os outros dois mini silos ficaram como testemunhas (sem óleo essencial). Após 24 horas foi feita a contagem dos insetos por mini silos com o tratamento e nos testemunha. É importante ressaltar que a testemunha dos experimentos não aparecerá nos resultados pelo fato de não influenciar na contagem dos insetos que estavam nos mesmos.

Para comparar o grau de repelência dos diversos tratamentos, utilizou-se a Eq. (1), onde se estabelece um Índice de Preferência indicado por Procópio *et al*. (2003):

$$I.P. = \frac{\%\ de\ insetos\ no\ teste - \%\ de\ insetos\ na\ testemunha}{\%\ de\ insetos\ no\ teste + \%\ de\ insetos\ na\ testemunha} \quad (1)$$

Em que:
I.P.: -1,00 a -0,10 = Teste repelente; I.P.: -0,10 a +0,10 = Teste neutra; I.P.: +0,10 a +1,00 = Teste atraente.

As análises estatísticas de comparação entre os percentuais de insetos presentes no tratamento foram feitas por ANOVA seguida de teste de Tukey com 95% de confiança com auxílio do software SPSS student version e a correlação de Pearson entre as doses e os índices de preferência, no Excel.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a análise estatística com a comparação média de porcentagem dos insetos no tratamento com óleo essencial no teste de repelência em mini silos. Observa-se que as doses de 5000 e 6000 µL/silo, com uma porcentagem de insetos no tratamento de 59%, onde as mesmas não se diferem estatisticamente usando a comparação de média pelo Teste de Tukey ($p>0,05$), com diferença apenas entre a maior e menor dose testada. Observa-se também que ocorre uma diminuição do percentual de insetos com o aumento das doses, sendo que 31,45 µL/cm$^3$ foi de 8,5% e a 94,34µL/cm$^3$ foi de 97,5%.

Tabela 1 - Ação de repelência óleo essencial de *C. cassia* sobre os *S. zeamais* no tratamento que contém óleo essencial.

| | **Mortalidade (%)** |
|---|---|
| **Doses** | ***Sitophilus zeamais*** |
| 31,45 µL/cm$^3$ (3000 µL/silo) | 8,5±0,71$^e$ |
| 41,93 µL/cm$^3$ (4000 µL/silo) | 25±1,41$^d$ |
| 52,41 µL/cm$^3$ (5000 µL/silo) | 59±1,41$^c$ |
| 62,89 µL/cm$^3$ (6000 µL/silo) | 59±1,41$^c$ |
| 78,62 µL/cm$^3$ (7500 µL/silo) | 75,5±0,71$^b$ |
| 94,34 µL/cm$^3$ (9000 µL/silo) | 97,5±2,12$^a$ |

*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferenciam entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

A curva de mortalidade de *S. zeamais* em função da dose de óloe essencial de *C. cassia* é apresentada na Fig. 2. Com a curva de mortalidade, demonstrada na Fig. 2, destaca-se a ação relevante de *C. Cassia*, com um $r^2$ de 0,939. Com a equação da reta determinou-se a $DL_{50}$, $DL_{30}$ de *C. cassia* sobre *S. zeamais* onde gerou uma $DL_{50}$ de 1582 µL/silo (16,58 µL/cm$^3$) e uma $DL_{30}$ de 156,43 µL/silo (1,64 µL/cm$^3$). Observa-se a partir dos dados obtidos para $DL_{50}$, que é necessária uma dose letal baixa para obter-se a mortalidade de *S. zeamais*.

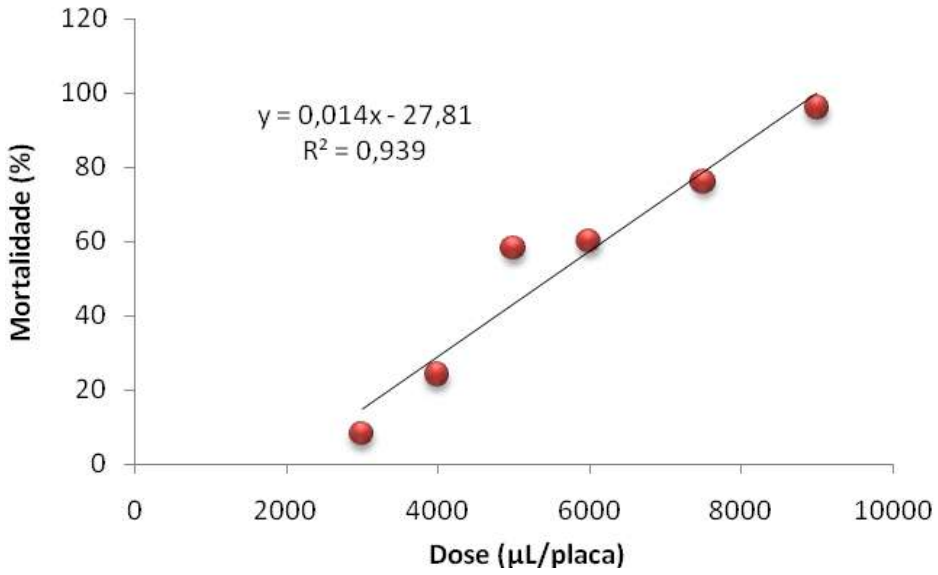



Figura 2 – Curva de mortalidade de *S. zeamais* em diferentes doses de *C.cassia*.

Os índices de preferência nos testes realizados com *Sitophilus zeamais* estão apresentados na Tab. 2 que se mostraram repelentes em todas as dosagens testadas, variaram entre -1 com 1582µL , –0,8 com 156,73µL. Foi observada correlação (Pearson = 0,99) entre as diferentes doses testadas e os respectivos índices de preferência

Tabela 2 - Ação de repelência óleo essencial de *C. cassia* sobre os *S. zeamais* no tratamento que contém óleo essencial.

| **Doses** | **% insetos no tratamento** |
|---|---|
| 16,58 µL/cm$^3$ (1582 µL/silo) | -1,0 |
| 1,64 µL/cm$^3$ (156,43 µL/silo) | -0,8 |

I.P.: onde -1,00 a -0,10 planta-teste repelente; I.P.: -0,10 a +0,10 planta-teste neutra; I.P.: +0,10 a +1,00 planta-teste atraente.

A correlação entre as concentrações testadas e os respectivos índices de preferência, confirmam que o aumento de concentração do óleo essencial induz a um aumento da repelência de *S. zeamais* em grãos de milho armazenados, e que uma dose equivalente a $DL_{30}$ de *C. cassia* sobre *S. zeamais* é suficiente para sinduzir a repelência dos insetos via fumigação dos grãos armazenados.

Para a utilização do óleo pelos agricultores, é viável, pois ressalta-se que a planta libera através do contato com o oxigênio, alguns de seus componentes químicos quando colocada em meio aos grãos de milho e em ambiente fechado, repelindo os insetos. Possibilitando assim, uma forma de visar lucros e não necessitando somente do óleo para repelir os insetos.

Considerando a possibilidade de que insetos podem adquirir resistência contra princípios ativos de diferentes origens, o estudo dos óleos essenciais pode ser alternativa aos novos bioprodutos usados diretamente no controle de insetos ou mesmo, novos modelos moleculares para a produção de pesticidas menos agressivos para o ambiente.

Os óleos essenciais e seus subprodutos têm sido considerados uma boa escolha para o controle do inseto, uma vez que eles têm rápida degradação, causando efeitos menores nos benefícios espécies de insetos (Tripathi, *et al.*, 2009).

Além disso, a aplicação de espécies nativas como fonte de óleos e/ou extratos empregados em favor da agricultura poderiam ser uma estratégia para seu uso sustentável comunidades locais e, consequentemente, contribuir para a sua conservação. Neste estudo, a aplicação de *C. cassia* no combate de *S. zeamais* mostrou resultados promissores, que poderiam ser explorados para o manejo adequado dessa árvore em fragmentos da Mata Atlântica (Vedovatto, *et al.*, 2015).

## 4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho comprovou-se que o óleo essencial de *C. cassia* teve repelência sobre *S. zeamais* no bioensaio com mini silos. Assim, possui ação de repelência em todas as doses letais testadas, com correlação positiva entre as doses avaliadas e o aumento da repelência.

Cabe ressaltar que até o momento não existem estudos relatando atividade de repelência para grãos armazenados, da espécie *Cinnamomum cassia* e que esses resultados indicam perspectivas favoráveis para posterior uso dos óleos dessas plantas no controle de insetos e fungos na agricultura.

Levando em consideração a parte ecológica deste trabalho, se obteve resultados promissores nos levando a crer que os agricultores poderão deixar de usar inseticidas industriais prejudiciais ao meio ambiente e a quem aplica esses produtos, podendo utilizar especiarias pertencentes ao nosso ambiente.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CNPq, CAPES, FAPERGS e a URI - Erechim pelo apoio financeiro e infraestrutura.

## 6. REFERÊNCIAS

Abulude, F.O. et al., 2007. Effect of palm oil in protecting stored grains from *Sitophilus zeamais* and *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Entomology*,Vol. 4, n. 5, p. 393- 396.

Asawalam, E.F. e Hassanali. A., 2006. Constituents of the essential oil of *Vernonia amygdalina* as maize weevil protectants. *Tropical and subtropical agroecosystems*, Vol. 6, p. 95-102.

Bullangpoti, V., Wajnberg, E., Audant, P. e Feyereisen, R., 2002. Antifeedant activity of Jatropha gossypifolia and *Melia azedarach* senescent leaf extracts on *Spodoptera fruqiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their potential use as synergists. *Pest Management Science*, Vol. 68, p.1255–1264, 2012.

Correa, Y.D.C.G., Faroni, L.R.A., Haddi, K., Oliveira, E.E. e Pereira, E.J.G., 2015. Locomotory and physiological responses induced by clove and cinnamon essential oils in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 125: 31-37.

Dubey, N.K., Srivastava B. e Kumar A., 2008. Current status of plant products as botanical pesticides in storage pest management. *J Biopest*, pp. 182-186.

Estrela, J.L.V. et al., 2006. Toxicidade de óleos essenciais de *Piper aduncum* e *Piper hispidinervum* em *Sitophilus zeamais*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol. 41, p. 217-222.

Gallo, D., 2002. *Entomologia agrícola*. Piracicaba, SP: FEALQ, p. 920.

Henning, A.A., 2005. Patologia e tratamento de sementes: noções gerais. Londrina- PR, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA).

Herrendorf, B. e Schoellman, T., 2015 Why is measured productivity so low in agriculture?. *Review of Economic Dynamics*, Vol. 18, n. 4, p. 1003-1022.

Lorini, I., 2008 Manejo Integrado de Pragas de Grãos de Cereais Armazenados. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 72p.

Mossi, A.J. et al., 2011. Insecticidal and repellency activity of essential oil of *Eucalyptus* sp. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 91, p. 273- 277.

Mossi, A.J. et al., 2014. Essential oil of *Ocotea odorifera*: An alternative against *Sitophilus zeamais*. *Renewable Agriculture and Food Systems*, Vol. 29, p. 161-166.

Mostafalou, S. e Abdollahi., 2017. Pesticides: an update of human exposure and toxicity. Toxicol. Feb;91(2):549-599.

Negahban, M. e Moharramipour, S., 2007. Fumigant toxicity of *Eucalyptus intertexta*, *Eucalyptus sargentii* and *Eucalyptus camaldulensis* against stored-product beetles. *Journal of Applied Entomology*, Vol. 131, p. 256-261.

Palacin, J.J.F., Lacerda, F., Cecon, P.R. e Montes, E.J.M., 2006. Determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico de milho (*Zea mays* L.) nas espigas. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Vol. 31, n. 2, p. 197-205.

Procópio, S.O.D., Vendramin, J.D., Riberiro, J.I.J.R. e Santos J.B. Dos., 2003. Bioatividade de diversos pós de origem vegetal em relação *Sitophilus zeamais* MOST. (CLEOPTERA: Curculionidae). *Ciência e Agrotecnologia*, Vol. 6, p. 1231-1236.

Tavares, M.A.C. e Vendramim, J.D., 2005. Bioatividade da Erva-de-Santa-Maria, *Chenopodium ambrosioides* L., sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). *Neotropical Entomology*. Londrina, Vol. 34, n. 2, p. 319-323.

Tripathi, A.K. et al., 2009. A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, Vol. 1, n. 5, p. 52-63.

USDA. World Agricultural Production. 2019. Office of Global Analysis, *International Production Assessment Division (IPAD*), Washington, DC.

Vedovatto, F., Valério Júnior, C., Astolfi, V., Mielniczki-Pereira, A.A., Roman, S.S., Paroul, N., Cansian, R.L. 2015. Essential oil of Cinnamodendron dinisii Schwanke for the control of Sitophhilus zeamais Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais,* Vol. 17, n. 4, p. 1055-1060.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DO ÓLEO ESSENCIAL COMERCIAL DE *Cinnamomum cassia* E DO TRANS-CINAMALDEÍDO

**Marina Andreia de Souza**
**Julia Lisboa Bernardi**
**Bethina Pascuetti Tres**
**Andressa Franco Denti**
**Rafaela França**
**Nicole Deitos**
**Mariane Minozzo**
**Bruna Maria Saorin Puton**
**Natalia Paroul**
**Rogério Luis Cansian**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões - URI- Erechim, Av. Sete de Setembro 1621, Erechim - RS, CEP 99700-000, Brasil.
mariina.2010@hotmail.com
julialisboabernardi@yahoo.com
bethinapascuetti@gmail.com
andressa.franco98@hotmail.com
rafa.franca.1227@gmail.com
nicoledeitos4@gmail.com
mariane-minozzo@saude.rs.gov.br
brunnaputon@hotmail.com
nparoul@uricer.edu.br
cansian@uricer.edu.br

***Resumo.*** *O objetivo do presente trabalho foi avaliar a atividade antifúngica do óleo essencial comercial de* Canela cássia (Cinnamomum cassia) *e de seu composto majoritário, o trans-cinamaldeído. Os ensaios da atividade antifúngica foram realizados por meio da técnica de difusão em meio sólido utilizando cavidades em placa sobre três fungos produtores de micotoxinas em cereais. Como resultado obteve-se que o óleo essencial de* C. cassia *e o trans-cinamaldeído apresentaram a CIM de 0,5% para os três fungos testados, sendo que para o óleo essencial o valor do halo de inibição nesta concentração foi de 11, 12 e 15 mm, para* A. flavus, P. crustosum *e* A. alternata, *respectivamente. Já para o trans-cinamaldeído o valor de CIM para* A. flavus *(13 mm) de 1% e de 0,5% para* P. crustosum *(21 mm) e* A. alternata *(13 mm). Com base nos resultados obtidos podem-se considerar ambos, o óleo essencial e o trans-cinamaldeído, como opções na inibição do desenvolvimento de fungos.*

***Palavras-chave:*** Canela cássia. A. alternata. A. flavus. P. crustosum.

## 1. INTRODUÇÃO

O armazenamento inadequado de alimentos e cereais, como umidade excessiva e presença de insetos pode levar ao desenvolvimento de fungos deteriorantes ou patogênicos, que podem produzir micotoxinas e/ou reduzir o valor nutricional do alimento.

A contaminação por fungos afeta a qualidade dos produtos pela produção de micotoxinas, que ocasionam danos à saúde, tanto humana quanto animal, em razão da atividade tóxica que podem exercer sobre o organismo (Kumar *et al*., 2008). As micotoxinas são produtos de baixo peso molecular do metabolismo secundário dos fungos, produzidos principalmente pelos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* e *Alternaria* (Keller *et al*., 2013).

O *A. flavus* é um fungo responsável pela deterioração de muitos alimentos, além disso, as cepas toxigênicas de *A. flavus* podem se desenvolver em nozes, amendoim, sementes de algodão, milho e outros cereais, produzindo micotoxinas carcinogênicas altamente tóxicas, as aflatoxinas (Geiser, Pitt e Taylor, 1998; Aquino *et al*., 2005; Albuzaudi *et al*., 2017).

A espécie *A. alternata* é a mais toxigênica do gênero, podendo ser encontrada em produtos, como sorgo, soja, trigo, milho, arroz, entre outros (Torres *et al*., 1998; Broggi *et al*., 2007; Oviedo *et al*., 2011). A espécie *P. crustosum* é uma das responsáveis pela deterioração de alimentos, sendo também relacionada a intoxicação animal devido ao consumo de cereais e rações contaminados (Rundberget, Skaar e Flaoyen, 2004).

O controle de fungos e micotoxinas nos grãos são realizados principalmente pelos cuidados durante as operações de colheita, limpeza e secagem dos grãos. As recomendações são realizar a colheita tão logo seja atingido o teor de umidade que permita proceder a operação; ajustar os equipamentos de colheita para proceder a máxima limpeza da massa de grãos e evitar danos mecânicos; desinfetar as instalações e os equipamentos de colheita. Limpar os silos e graneleiros removendo pó, lixo e outros materiais; proceder de forma correta as operações de pré-limpeza e limpeza, removendo impurezas, grãos danificados, finos e materiais estranhos. Pois estes podem ser utilizados como substrato no desenvolvimento de fungos; proceder a operação de secagem de forma correta garantindo a redução do teor de umidade a níveis que não permitam o desenvolvimento de fungos; monitorar a temperatura da massa de grãos e aerar sempre que necessário, para uniformizar a temperatura (Lorini, 2008).

A resistência de pragas a produtos químicos é uma realidade comum no mundo todo e cada vez mais deve ser considerada, de forma consciente, por todos os envolvidos no processo, uma vez que pode inviabilizar o uso de alguns produtos químicos disponíveis no mercado e provocar perdas de elevados investimentos de capital para a consecução dessas ações (Lorini, 2008).

Os produtos naturais provenientes de plantas podem ser de potencial interesse no combate a insetos, pois os conhecimentos sobre sua atividade biológica podem levar a sua aplicação no manejo de pragas. Esta aplicação pode ser do próprio produto natural, diretamente, ou de seus análogos resultantes de modificações estruturais (Prates e Santos, 2002). Diversos estudos relatam a capacidade dos óleos essenciais de algumas plantas de inibir o crescimento de fungos e a produção de micotoxinas (Ferreira *et al*., 2013; Yamamoto-ribeiro *et al*., 2013; Bomfim *et al*., 2015; Kohiyama *et al*., 2015; Hu *et al*., 2017; Wang *et al*., 2018).

O gênero *Cinnamomum* pertence a família Lauraceae e algumas de suas espécies são usadas na indústria de alimentos e bebida devido ao aroma de seu óleo essencial (Chang, Chenn e Chang, 2001). Na espécie *C. cassia*, o componente majoritário é o trans-cinamaldeído, este composto é relacionado às atividades biológicas do óleo essencial de *C. cassia*, como antifúngica e antibacteriana (Ooi *et al*., 2006).

Dessa forma, visando contribuir para as investigações de agentes antimicrobianos naturais, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial antifúngico do óleo essencial comercial de *C. cassia* e do trans-cinamaldeído sobre os fungos *A. alternata*, *A. flavus* e *P. crustosum*.

## 2. METODOLOGIA

A atividade antifúngica do óleo essencial comercial de *C. cassia* (Ferquima) e do seu composto majoritário, o trans-cinamaldeído (99%; Sigma-Aldrich®) foi baseada na metodologia de Hadaceck e Greger (2000), com o método de difusão em meio sólido com cavidades em placa, sobre três fungos: *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus* e *Penicillium crustosum*, obtidos junto ao Agricultural Research Service (ARS Culture Collection - NRRL).

Para os ensaios da atividade antifúngica, primeiramente realizou-se diferentes concentrações do óleo essencial comercial de *C. cassia* e do trans-cinamaldeído (10, 8, 5, 3, 1 e 0,5%; v/v) em água destilada estéril com 1% de Tween 80 e em seguida as diluições foram agitadas em agitador de tubos (Phoenix, AP 56) por 5 minutos antes da utilização.

Após a esterilização do meio Potato Dextrose Agar (PDA) (Merck) o mesmo foi resfriado até aproximadamente 40 ºC, temperatura em que ainda está líquido e não provoca a morte do micro-organismo, que é adicionado ao meio na proporção 1 mL de suspensão fúngica (aproximadamente $10^6$ UFC.mL$^{-1}$) para 20 mL de meio de cultura. Em seguida realizou-se o plaqueamento e após a solidificação do ágar, quatro cavidades foram feitas com cânulas de vidro estéreis com 6 mm de diâmetro, sendo então depositados 50 µL da solução com óleo essencial ou trans-cinamaldeído, 50 µL de Tween 80 (Dinâmica), utilizado como controle negativo, 50 µL de água estéril (controle negativo) e 50 µL de antifúngico comercial Canesten® (1% de clotrimazol) como controle positivo (Figura 1).

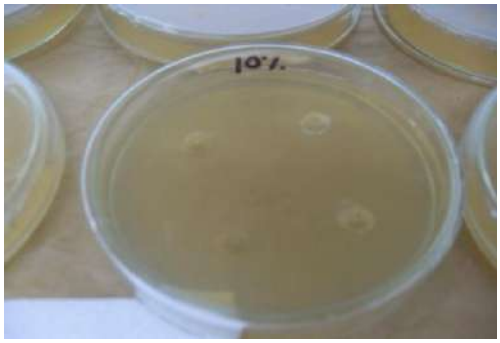


Figura 1 - Placa evidenciando as cavidades utilizadas para teste fungicida.

Em seguida, incubou-se o sistema por 72 h a 25 ºC em estufa (Tecnal, TE 392/2), sendo verificado a cada 24 h (Lauxen, 2012). Os testes foram realizados em triplicata.

Logo após o crescimento do fungo, mediu-se o diâmetro total do halo, levando-se em consideração o diâmetro da cavidade (6 mm), e os resultados foram expressos em milímetros. A concentração inibitória mínima (CIM) foi considerada como a concentração de amostra capaz de desenvolver um halo de inibição do crescimento fúngico maior ou igual a 10 mm de diâmetro (Lima, *et al.*, 2006).

A comparação das médias para avaliar o efeito antifúngico foi realizada através do Teste de Tukey ($p<0,05$) com a utilização do programa SAS.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da atividade antifúngica do óleo essencial de *C. cassia* e do trans-cinamaldeído sobre os três fungos testados estão apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 - Diâmetro médio de halo (mm) de diferentes concentrações do óleo essencial (OE) de *C. cassia* e do trans-cinamaldeído (TC) sobre *A. alternata, A. flavus* e *P. crustosum.*

| **Concentrações do OE** | *A. alternata* | *A. flavus* | *P. crustosum* |
|---|---|---|---|
| | Diâmetro do halo (mm) | | |
| **10%** | $30^{a} \pm 1$ | $29^{a} \pm 2$ | $30^{a} \pm 1$ |
| **8%** | $28^{ab} \pm 1$ | $25^{b} \pm 1$ | $29^{a} \pm 1$ |
| **5%** | $26^{bc} \pm 1$ | $21^{c} \pm 1$ | $29^{a} \pm 1$ |
| **3%** | $23^{cd} \pm 3$ | $21^{c} \pm 0$ | $24^{b} \pm 2$ |
| **1%** | $19^{d} \pm 1$ | $17^{d} \pm 2$ | $23^{b} \pm 1$ |
| **0,5%** | $15^{e} \pm 1$ | $11^{e} \pm 1$ | $12^{c} \pm 1$ |
| **Concentrações do TC** | *A. alternata* | *A. flavus* | *P. crustosum* |
| | Diâmetro do halo (mm) | | |
| **10%** | $34^{a} \pm 1$ | $34^{a} \pm 1$ | $31^{a} \pm 1$ |
| **8%** | $31^{b} \pm 1$ | $29^{b} \pm 2$ | $29^{ab} \pm 1$ |
| **5%** | $27^{c} \pm 1$ | $21^{c} \pm 1$ | $27^{bc} \pm 1$ |
| **3%** | $19 \pm 1$ | $19^{c} \pm 2$ | $27^{cd} \pm 1$ |
| **1%** | $15^{e} \pm 1$ | $13^{d} \pm 1$ | $25^{d} \pm 1$ |
| **0,5%** | $13^{e} \pm 1$ | 0 | $21^{e} \pm 1$ |

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

O óleo essencial de *C. cassia* apresentou o valor de halo de inibição de 30 mm para *A. alternata* e *P. crustosum* e de 29 mm para *A. flavus* na maior concentração testada (10%).

O trans-cinamaldeído formou um halo de inibição de 34 mm para *A. flavus* e *A. alternata* e de 31 mm *P. crustosum* na concentração de 10%. Este composto, majoritário no óleo essencial de *C. cassia*, é responsável por algumas bioatividades, como antibacteriana e antifúngica (Ooi, *et al*., 2006; Lin, *et al*., 2019).

A fim de visualizar melhor os dados da atividade antifúngica do óleo essencial de *C. cassia* e do trans-cinamaldeído construiu-se um gráfico relacionando a concentração do óleo essencial com a formação do halo de inibição, representado na Fig. 2.

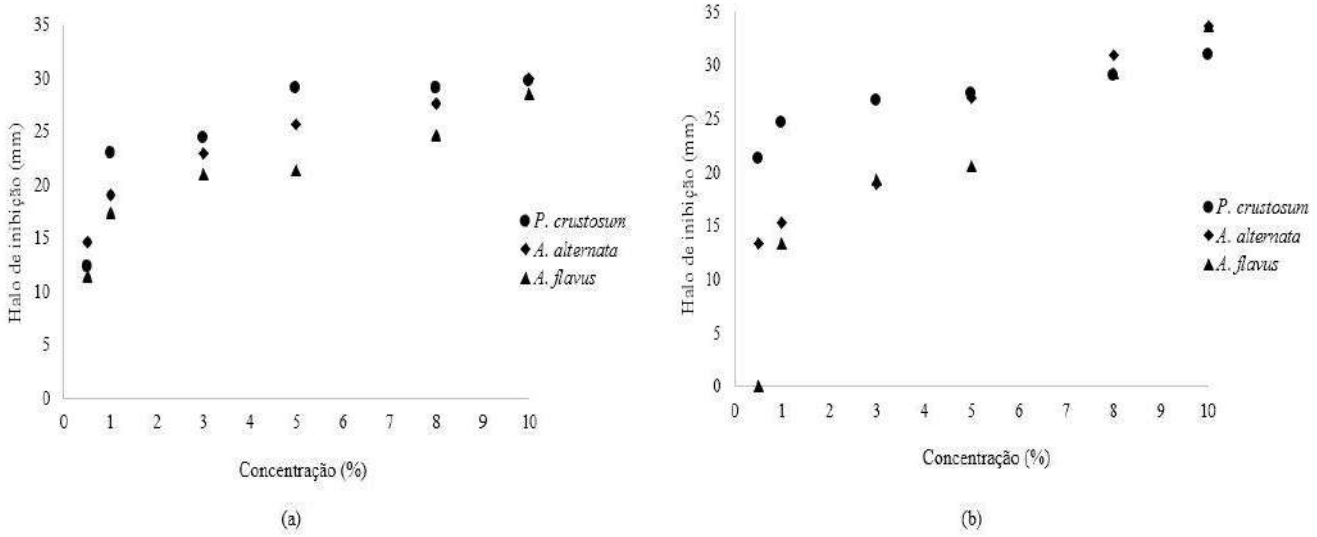



Figura 2 - Tamanho dos halos de inibição do óleo essencial de *C. cassia* (a) e do trans-cinamaldeído (b) sobre *A. alternata*, *A. flavus*, e *P. crustosum.*

A CIM, concentração necessária para formar um halo de inibição igual ou maior a 10 mm de diâmetro, para os três fungos testados foi de 0,5%. Com base nos resultados da CIM o fungo mais sensível foi *A. alternata*, seguido de *P. crustosum* e *A. flavus* foi o micro-organismo mais resistente, formando o menor halo de inibição (11 mm) na concentração de 0,5%.

Wang *et al.*, 2018, avaliaram a atividade antifúngica de 11 óleos essenciais sobre três fungos toxigênicos, *A. flavus*, *A. carbonarius* e *P. Viridicatum*, através da determinação do diâmetro da zona fúngica, entre eles o óleo essencial de *C. cassia*, e verificaram que este estava entre os 4 óleos essenciais com maior atividade antifúngica. Além disso, os autores realizaram experimentos com seis dos principais componentes ativos encontrados em óleos essenciais, incluindo *trans*-cinamaldeído, e os resultados indicaram que este composto, assim como os demais compostos, pode contribuir para o efeito antifúngico.

O trans-cinamaldeído apresentou uma CIM para o *P. crustosum e para A. alternata* de 0,5%. Já para o *A. flavus* a CIM foi de 1%. De acordo com os resultados dos halos de inibição gerados pela CIM, o fungo mais sensível foi *P. crustosum* (21 mm), seguido de *A. alternata* (13 mm) e o fungo mais resistente foi *A. flavus*, com halo de inibição de 13 mm na concentração de 1%.

Xie *et al.*, 2017, investigaram as atividades antifúngicas de óleos essenciais da casca de canela, do broto do cravo, do cinamaldeído e de derivados do eugenol contra os fungos fitopatogênicos *R. solani* e *F. oxysporum*, e observaram inibição do crescimento micelial provocado pelos dois óleos essenciais, Além disso o trans-cinamaldeído, o α-metilcinamaldeído, o ácido α-metilcinâmico e alguns derivados do eugenol, mostraram boa atividade antifúngica contra os fungos testados.

Segundo os mesmos autores, as características estruturais dos compostos presentes nos óleos essencial pode ter relação com a atividade, para os derivados do cinamaldeído a atividade antifúngica pode estar relacionada à ligação dupla conjugada e ao comprimento da cadeia CH ligada ao anel, outro fator que pode ter influência é a lipofilicidade do composto.

## 4. CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos neste trabalho pode-se considerar o óleo essencial de *C. cassia* e o trans-cinamaldeído alternativas no controle do desenvolvimento de fungos filamentosos. Além disso, o trans-cinamaldeído apresentou para *P. crustosum* e *A. alternata* o valor de CIM igual ao encontrado para o óleo essencial de *C. cassia*, já para *A. flavus* o valor de CIM do trans-cinamaldeído foi maior que o do óleo essencial.

Os óleos essenciais de *C. cassia* e o trans-cinamaldeído apresenta-se como potencial para redução de perdas causadas por fungos em grãos de milho armazenados e, principalmente para a redução da incidência de micotoxinas nestes.

Levando em consideração a parte ecológica deste trabalho, se obteve resultados promissores nos levando a crer que os agricultores poderão deixar de usar fungicidas industriais prejudiciais ao meio ambiente e a quem aplica esses produtos, podendo utilizar produtos naturais.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CNPq, CAPES, FAPERGS eURI - Erechim pelo apoio financeiro e infraestrutura.

## 6. REFERÊNCIAS

Albuzaudi, M. et al., 2017. "Effect of gamma irradiation and heat treatment on the artificial contamination of maize grains by *Aspergillus flavus* Link NRRL 5906". *Journal of Stored Products Research*, Vol. 71, p. 57-63.

Aquino, S. et al., 2005. "Evaluation of viability of *Aspergillus flavus* and aflatoxins degradation in irradiated samples of maize". *Brazilian Journal of Microbiology*, Vol. 36, No. 4, p. 352-356.

Bomfim, N.S. et al., 2015. "Antifungal activity and inhibition of fumonisin production by *Rosmarinus officinalis* L. essential oil in *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg". *Food Chemistry*, Vol. 166, p. 330–336.

Broggi, L.E. et al., 2007. "*Alternaria alternata* prevalence in cereal grains and soybean seeds from Entre Ríos, Argentina". *Revista Iberoamericana de Micología*, Vol. 24, p. 47-51.

Chang, S.T., Chen, P.F. e Chang, S.C., 2001. "Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum". Journal of Ethnopharmacology*, Vol. 77, p. 123–127.

Ferreira, F.D. et al., 2013. "Inhibitory effect of the essential oil of *Curcuma longa* L. and curcumin on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* Link". *Food Chemistry*, Vol. 136, p. 789–793.

Geiser, D.M., Pitt, J.I. e Taylor, J.W., 1998. "Cryptic speciation and recombination in the aflatoxin-producing fungus *Aspergillus flavus*". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA, 95, 388-393.

Hadaceck, F. e Greger, H., 2000. "Testing of antifungical natural products: methodologies, comparability of results and assay choice". *Phytochemistry Anal*, Vol. 11, p. 137-147.

Hu, Y. et al., 2017. "Mechanisms of antifungal and anti-aflatoxigenic properties of essential oil derived from turmeric (*Curcuma longa* L.) on *Aspergillus flavus*". *Food Chemistry*, Vol. 220, p. 1–8.

Keller, L.A.M. et al., 2013. "Fungal and mycotoxins contamination in corn silage: Monitoring risk before andafter fermentation". *Journal of Stored Products Research*, Vol. 52, p. 42e47.

Kohiyama, C.Y. et al., 2015. "Antifungal properties and inhibitory effects upon aflatoxin production of *Thymus vulgaris* L. by *Aspergillus flavus* Link". *Food Chemistry*, Vol. 173, p. 1006–1010.

Kumar, V., Basu, M. S. e Rajendran, T. P., 2008. Mycotoxin research and mycoflora in some commercially important agricultural commodities. *Crop Protection*, Vol. 27, n. 6, p. 891-905.

Lauxen, F.R., 2012. *"*Estudo do efeito repelente, inseticida e antifúngico do óleo essencial de *Baccharis trimera (Less.) DC e Baccharis articulata (Lam.)* no controle de insetos e fungos em grãos armazenados". Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, p.64.

Lima, I.O. et al., 2006. "Atividade antifúngica de óleos essenciais sobre espécies de *Candida*". *Revista Brasileira de Farmacognosia*, Vol. 16, No. 2, p. 197-201.

Lin, C.-Y. et al., 2019. "Complementary relationship between trans-cinnamaldehyde and transcinnamyl acetate and their seasonal variations in *Cinnamomum osmophloeum* ct. cinnamaldehyde". *Industrial Crops & Products*, Vol. 127, p. 172–178.

Lorini, I., 2008. Manejo Integrado de Pragas de Grãos de Cereais Armazenados. *Passo Fundo: Embrapa Trigo*., 72p.

Ooi, L.S.M. et al., 2006. "Antimicrobial activities of cinnamon oil and cinnamaldehyde from the chinese medicinal herb *Cinnamomum cassia* Blume". *The American Journal of Chinese Medicine*, Vol. 34, No. 03, p. 511–522.

Oviedo, M.S. et al., 2011. "Influence of water activity and temperature on growth and mycotoxin production by Alternaria alternata on irradiated soya beans". *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 149, p. 127–13.

Rundberget, T., Skaar, I. e Flåøyen, A., 2004. "The presence of *Penicillium* and *Penicillium* mycotoxins in food wastes". *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 90, p.181 – 188.

Santos, C.C.M., Lopes, M.R.V. e Kosseki, S.Y., 2002. Ocorrência de aflatoxinas em amendoim e produtos de amendoim comercializados na região de São José do Rio Preto / SP. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 60(2):p. 153-157.

Torres, A., Gonzalez, H.H.L., Etcheverry, M., Resnik, S.L. e Chulze, S., 1998. "Production of alternariol and alternariol monometil e´ter by isolates of *Alternaria* spp. from Argentinian maize*". Food Additives & Contaminants*. 5 (1), 56–60.

Wang, H. et al., 2018. "Antifungal evaluation of plant essential oils and their major components against toxigenic fungi". *Industrial Crops & Products*, Vol. 120, p. 180–186.

Xie, Y. et al., 2017. "Structure-activity relationships of cinnamaldehyde and eugenol derivatives against plant pathogenic fungi". *Industrial Crops and Products*, Vol. 97, p. 388–394.

Yamamoto-Ribeiro, M.M.G. et al., 2013. "Effect of *Zingiber officinale* essential oil on *Fusarium verticillioides* and fumonisin production". *Food Chemistry*, Vol. 141, p. 3147–3152.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluso neste trabalho.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE RÚCULA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

**Murilo João Ramos**
**Lucas Adona**
**Vinícius Gustavo Lira Borsa**
**Paulo Sérgio Gomes da Rocha**
**Amito José Teixeira**
**Guilherme Henrique Parmigiani**
**Maicon Augusto Lussani**
Antonio Sergio do Amaral
**Lucas Luis Bruschi Demoliner**
**Gabriela Girelli Ambros**
Universidade Regional Integrada do alto Uruguai e das Missões – URI. Rod. RS 331, nº 345, Bairro Demoliner, Erechim-RS
murilojoaoramos@gmail.com, lucasadona@hotmail.com, vinilira196@gmail.com, p.sergio.r@uol.com.br, amito@uricer.edu.br, guilhermeparmigiani@hotmail.com, maicon.5@hotmail.com, asamaral@uricer.edu.br, lucasbruschi14@gmail.com, gabrielaambross@gmail.com

**RESUMO:** *O cultivo semi-hidropônico proporciona maior qualidade as hortaliças produzidas, assim uma série de vantagens quando comparado com o cultivo no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de rúcula no sistema de cultivo semi-hidropônico com diferentes espaçamentos. O trabalho foi conduzido no Campus da URI Erechim. O experimento consistiu no cultivo de mudas de rúcula cultivar "Apreciatta" em slab contendo substrato vegetal. Os tratamentos utilizados foram constituídos por três espaçamentos: (T1 - tratamento controle) 8 cm entre plantas e 9 cm entre linhas; (T2) 18 cm entre linhas e 8cm entre plantas e (T3) 5 cm entre plantas e 10 cm entre linhas. A solução hidropônica utilizada foi a Hidrogood. Para o preparo da mesma foi seguida as indicações do fabricante. Após 40 dias de cultivo foi determinado o diâmetro e altura da planta, massa fresca e seca das plantas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento, sendo a unidade experimental um slab com aproximadamente 1,5 m de comprimento. Os tratamentos utilizados na produção de rúcula não exerceram influência na altura, diâmetro, massa fresca e seca das plantas, mas o melhor espaçamento para a produção de massa fresca de rúcula foi de 10 cm x 5 cm.*

**Palavras chave:** hortaliça, hidroponia, cultivo protegido, slab, *Eruca sativa*

## 1. INTRODUÇÃO

A rúcula é originária da região mediterrânea, conhecida desde a antiguidade, como uma hortaliça, onde o primeiro registro data do século I, encontrado no herbário Grego Dioscorides (MORALES & JANICK, 2002). Pertence à família das brássicas, e tem três espécies que são utilizadas no consumo humano: *Eruca sativa* Miller, que possui ciclo de crescimento anual, *Diplotaxistenuifolia* (L) DC. e *Diplotaxismuralis* (L.) DC., ambas perenes (PIGNOME, 1997).

Segundo Trani *et al*. (1992), para o bom desenvolvimento da planta, com produção de folhas grandes e tenras, existe a necessidade de temperaturas entre 15 a 18 ºC, sendo que a melhor época de plantio ocorre de março a julho (outono/inverno). Os autores também ressaltam que quando ocorrem temperaturas elevadas a produção fica prejudicada, sendo que as folhas acabam ficando menores e lignificadas, tornando-se impróprias para a comercialização.

Em relação aos sistemas de cultivo, o sistema semi-hidropônico vem sendo introduzido como forma de cultivo por proporcionar um melhor controle da cultura, como pragas, doenças, economia de água, cultivo fora de época, comparando-o ao cultivo em solo. Na casa de vegetação tem-se uma melhor proteção de intempéries climáticas e se diferencia dos demais sistemas de cultivo por ser uma alternativa aprimorada, a qual utiliza porções de substratos, alocados em bancadas, sem manter contato com o solo, com sistema de irrigação interno, o que facilita a organização das plantas, diminui o espaço utilizado para as plantações, otimiza o monitoramento de doenças e deficiências nas plantas (GONÇALVES *et al*., 2014).

No sistema de cultivo semi-hidropônico é possível obter elevada produção sem contato com o solo, diminuindo a utilização de defensivos agrícolas nas culturas. Para isso é importante que o ambiente de cultivo protegido permita que a planta tenha boa luminosidade, para que a mesma possa realizar a fotossíntese e proporcionar um bom desenvolvimento para a cultura. Adicionalmente, a ventilação lateral na casa de vegetação é outro fator de suma

importância, pois acarreta na diminuição da temperatura interna. Pois, temperaturas altas quando associada a umidade elevada no interior da estufa pode aumentar a probabilidade de ocorrência de doenças, principalmente as de natureza fúngica (PAGNAN & MONEGAT, 2015).

Quanto a solução nutritiva para cultivo hidropônico, ela deve ter pH entre 5,5 e 6,5 e pode ser elaborada a partir da mistura dos nutrientes nitrogênio, magnésio, óxido de potássio, fósforo, enxofre, cobre, manganês e zinco. Ou ainda, algumas empresas dispõem para comercialização a mistura pronta, que, conforme recomendação deve ser diluída em uma quantidade determinada de água (GIMÉNEZ, *et al*., 2008).

Em relação aos sistemas de cultivo hidropônico, estes podem ser aberto ou fechado. O sistema hidropônico aberto pode ser definido como um sistema onde não ocorre a reutilização da solução nutritiva drenada, esta forma é a mais utilizada em sistemas de produção fora do solo. O sistema hidropônico fechado é onde ocorre a recirculação da solução nutritiva, e é um sistema que objetiva a diminuição de impactos ambientais, mas o risco de perdas de plantas por doenças é maior (GONÇALVES *et al*., 2016).

Quanto aos tipos de substratos a serem usados nos sistemas hidropônicos, estes devem ser escolhidos de acordo com características físicas e químicas adequadas com a espécie a ser plantada. De modo geral, as características desejáveis nos substratos são alta porosidade, boa capacidade de retenção de água, alta capacidade de troca catiônica, baixa densidade, homogêneo, boa agregação das partículas nas raízes, isentos de sementes de plantas daninhas e fito patógenos. Devem ser considerados também, aspectos econômicos, para que sua utilização seja viável (VALLONE *et al*., 2010).

A semeadura da rúcula pode ser feita diretamente no canteiro definitivo, utilizando-se 0,2 gramas de semente por metro linear ou em bandejas (poliestireno expandido ou polietileno), com posterior transplante das mudas para o canteiro. Ressalta-se, que na semeadura direta, muitas vezes, é difícil obter um estande uniforme, principalmente pela dificuldade de semeadura devido ao tamanho das sementes (REGHIN et al. 2004). Em ambos os sistemas de cultivo, o espaçamento utilizado entre linhas é de 0,15 a 0,25cm (TRANI *et al*., 1992).

A colheita da rúcula pode ser realizada de 30 a 40 dias após a semeadura. Após esse período as folhas começam a ficar fibrosas e impróprias para o consumo, pois a planta começa e entra no estádio reprodutivo. Este termina aproximadamente entre os 110 e 130 dias após a semeadura, quando tem início a colheita das sementes, com duração de cerca de 25 dias (MINAMI & TESSARIOLI NETO, 1998).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de rúcula no sistema de cultivo semi-hidropônico com diferentes espaçamentos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em estufa do Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim. Para a implantação do experimento foram utilizadas mudas de rúcula (*Eruca sativa*) cultivar "Apreciatta".

As mudas utilizadas foram produzidas em bandeja de poliestireno expandido (Isopor®) com 200 células, contendo substrato vegetal Dacko® (2019). No momento do transplante as mudas de rúcula estavam com 35 dias de cultivo (Fig. 1).



Figura 1. Aspecto da muda de rúcula cultivar "Apreciatta" utilizada para transplante em *slabs* contendo substrato vegetal.

O substrato vegetal Dacko é constituído por turfa canadense, vermiculita e casca de arroz. Os *slabs* foram mantidos em bancadas de madeira com 90 cm de altura (Fig. 2). Após o transplante, as mudas foram irrigadas por meio de mangueiras de gotejamento colocadas internamente na face superior dos *slabs*. Para evitar o encharcamento, os *slabs* foram perfurados na face inferior, de modo a permitir a drenagem do excesso da solução nutritiva no substrato.



Figura 2. Marcação dos espaçamentos nos *slabs* usados para o cultivo semi-hidropônico das mudas de rúcula cultivar "Apreciatta".

Os tratamentos utilizados no experimento foram constituídos por três espaçamentos: (T1- tratamento controle) 8 cm entre plantas e 9 cm entre linhas; (T2) 8 cm entre plantas e 18 cm entre linhas e (T3) 5 cm entre plantas e 10 cm entre linhas (Fig. 3).

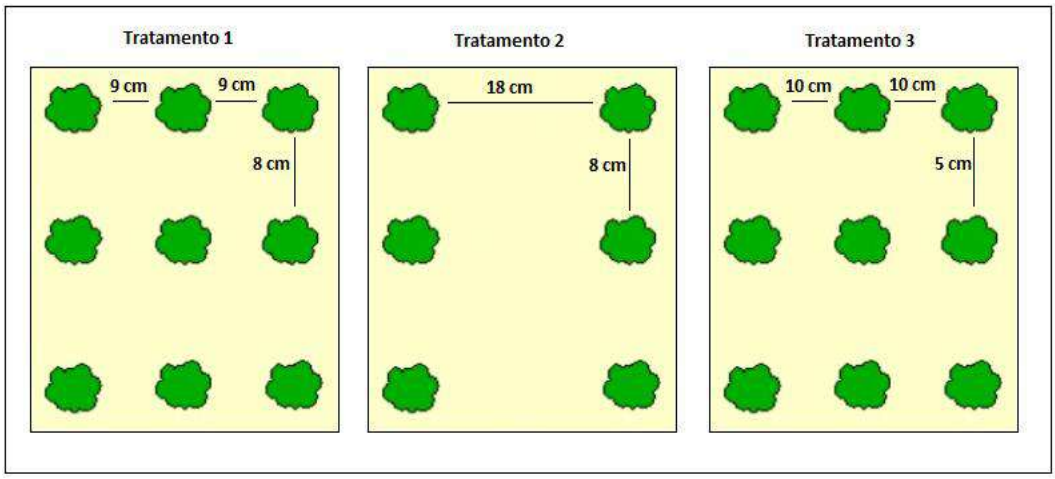



Figura 3. Desenho esquemático dos espaçamentos utilizados nos *slabs* para o cultivo de rúcula cultivar "Apreciatta" em sistema semi-hidropônico.

A solução hidropônica utilizada para o cultivo foi a Hidrogood (2019). Para o preparo da mesma foram pesados 330 g de Composto Hidrogood Fert., 247,5 g Nitrato de Cálcio e 10 g Fe EDDHA. Após pesados os sais da solução Hidrogood, os mesmos foram dissolvidos separadamente em um becker com o auxílio de um bastão de vidro e após transferido para a caixa plástica com capacidade de 500 L. O preparo da solução era realizado uma vez por semana.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições por tratamento, sendo a unidade experimental constituída por um *slab* contendo substrato vegetal e medindo aproximadamente 1,5 m de comprimento.

Após 40 dias de cultivo das rúculas foi determinado o diâmetro da planta, com o auxílio de um paquímetro digital; a altura da planta com o auxílio de uma régua graduada (Fig. 4); e o peso da massa fresca e seca das plantas. Para determinar a massa fresca das plantas foram coletadas três amostras dos *slabs*, sendo cada uma delas formadas a partir de cada muda transplantada. A coleta foi realizada com o auxílio de uma faca, sendo o corte efetuado a 2 cm da superfície do *slab*. Após a coleta, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel pardo e pesado em balança digital.



Figura 4. Determinação da altura da planta de rúcula cultivar Apreciatta, com o auxílio de régua graduada, após 40 dias de cultivo em sistema semi-hidropônico.

Para a determinação da massa seca das plantas, colocou-se os sacos contendo as amostras em uma estufa de aeração forçada a uma temperatura de 60 ºC, durante 72 horas e/ou até a obtenção de peso constante do material vegetal.

Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância utilizando o programa SANEST (Sistema de Análise Estatística). Sendo as médias obtidas comparadas estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variância apresentou efeito significativo do fator espaçamento para a variável analisada massa fresca das rúculas.

Em relação as variáveis altura, diâmetro da planta de rúcula e massa seca (Fig 4), pode-se observar na tabela 1 que não houve diferença dos diferentes espaçamentos utilizados nos slabs para a produção semi-hidropônica de rúcula cultivar Apreciatta.

**Tabela 1**- Variáveis da rúcula cultivar Apreciatta após 40 dias de cultivo em sistema semi-hidropônico.

| | **Variáveis** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Espaçamentos** | Altura da planta (cm) | Diâmetro da planta (mm) | Massa fresca (g) | Massa seca (g) |
| T1 (9 cm x 8) | 20,25 a | 2,19 a | 20,12 ab | 1,55 a |
| T2 (18 cm x 8) | 19,25 a | 1,79a | 19,73 b | 1,69 a |
| T3 (10 cm x 5) | 21,50 a | 2,40 a | 25,75 a | 1,89 a |

*Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.



Figura 4. Aspecto visual da matéria seca das rúculas cultivar Apreciatta.

Quanto a massa fresca da planta das rúculas, ainda na tabela 1, pode-se observar que as plantas provenientes do espaçamento 10 cm x 5 cm, apresentaram a maior média (25,75 g) em relação aquelas do espaçamento 18 cm x 8 cm. Por outro lado, não houve diferença das plantas do espaçamento 18 cm x 8 cm e 9 cm x 8 cm. Rezende et al. Avaliando a produção de massa fresca e seca de rúcula, cultivada em canteiro com espaçamento de 25 cm entre linhas, obtiveram ao final de 43 dias de cultivo 18,7 g de massa fresca e 1,69 g de massa seca, respectivamente.

## 4. CONCLUSÃO

Para as condições utilizadas neste experimento, pode-se concluir que:

Os espaçamentos utilizados não interferiram na altura, diâmetro, massa fresca e seca de rúcula cultivar "Apreciatta" cultivada em sistema semi-hidropônico.

O melhor espaçamento para a produção de massa fresca de rúcula foi de 10 cm x 5 cm.

## 5. REFERÊNCIAS

DACKO. 2019. "Substratos" 20 jan. 2019 <ww.dacko.com.br/equipamentos-para-viveiro-pt/substrato-vermiculita-osmocote>.

Giménez G.; Andriolo, J.; Godoi, R. Cultivo sem solo de morangueiros. *Ciência Rural*. Santa Maria. Vol. 38, n.1, p 273-279. Jan/fev, 2008.

Gonçalves, M. A.; Cocco, C.; Antunes, L.E.C. Morango fora do solo. *Revista Cultivar*: Hortaliças e Frutos. Fev-mar, 2014. Ano XII, nº 84.

Gonçalves, M.A.; Vignolo, G.K.; Antunes, L.E.C.; Reisser Junior, C. Produção de morangos fora do solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Clima Temperado. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Documentos 410. Pelotas, 2016.

HIDROGOOD. 2019. Fertilizantes. 20 jan. 2019.<https://hidrogood.com.br/produto/insumos/fertilizantes/hidrogood-fert-nacional>.

Minami, K. Produção de mudas de alta qualidade em horticultura. São Paulo:T.A. Queiroz, 1995, 128p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE- Guia alimentar para a população brasileira. 04 de abril, 2018. <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2008.pdf>.

Morales, M.; Janic, J. Arugula: a promising specialty leaf vegetable. Reprinted from: Trends in new crops and new uses. 2002.

Pagnan, Heitor A; Monegat, V; Morango cultivado em substrato ou em semi hidropônico. *Revista Campo & Negócios*. 2015. https://revistacampo&negocios.com.br/morango-cultivado-em-substratos-ou-em-semi-hidroponia/.2019

Pignone, D. Present status of rocket genetic resourses and conservation activities. In: Padulosi, S.; Pignone, D. Rocket: A Mediterranean crop for the world. REPORT OF A WORKSHOP. Report of a Workshop. 1996 Legnaro (Padova), Italy. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 1997. p.51-66.

Reghin, M. Y.; Otto, R. F.; Van Der Vinne, J. Efeito da densidade de mudas por célula e do volume da célula na produção de mudas e cultivo da rúcula. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, Vol.28, n.2, p.289-297, mar./abr.2004.

Trani, P. E.; Fornasier, J. B.; Lisbão, R. S. Cultura da rúcula. Campinas: IAC. 1992. 8p. (Boletim técnico 146).

Vallone, H.S.; Guimarães, R.J.; Mendes, A.N.G.; Cunha, R.L.; Carvalho, G.R.; Dias, F.P. Efeito de recipientes e substratos utilizados na produção de mudas de cafeeiro no desenvolvimento inicial em casa de vegetação, sob estresse hídrico. *Ciência e agrotecnologia*, Vol.34, n.2, p. 320-328, 2010.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE CEBOLINHA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

**Murilo João Ramos**
**Vinícius Gustavo Lira Borsa**
**Lucas Adona**
**Paulo Sérgio Gomes da Rocha**
**Amito José Teixeira**
**Lucas Luis Bruschi Demoliner**
**Guilherme Henrique Parmigiani**
**Maicon Augusto Lussani**
**Sergio Henrique Mosele**
**Antonio Sergio do Amaral**

Universidade Regional Integrada do alto Uruguai e das Missões – URI. Rod. RS 331, nº 345, Bairro Demoliner, Erechim-RS

murilojoaoramos@gmail.com, vinilira196@gmail.com, lucasadona@hotmail.com, p.sergio.r@uol.com.br, amito@uricer.edu.br, lucasbruschi14@gmail.com, guilhermeparmigiani@hotmail.com, maicon.5@hotmail.com sergio@uricer.edu.br, asamaral@uricer.edu.br

**Resumo:** O cultivo semi-hidropônico proporciona maior qualidade as hortaliças produzidas, assim uma série de vantagens quando comparado com o cultivo em solo a céu aberto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de cebolinha no sistema de cultivo semi-hidropônico com diferentes espaçamentos. O trabalho foi conduzido em estufa no Campus II da URI Erechim. O experimento consistiu no cultivo de mudas de cebolinha cultivar "Todo Ano" em *slab* contendo substrato vegetal. Os tratamentos utilizados foram constituídos por três espaçamentos: (T1 - tratamento controle) 10cm entre plantas e 18cm entre linhas; (T2) 10cm entre linhas e entre plantas e (T3) 5cm entre plantas e 10cm entre linhas. A solução hidropônica utilizada foi a Hidrogood. Para o preparo da mesma foi seguida as indicações do fabricante. Após 40 dias de cultivo foi determinado o diâmetro e altura da planta, massa fresca e seca das plantas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento, sendo a unidade experimental um *slab* com aproximadamente 1,5 m de comprimento. Os diferentes espaçamentos utilizados para a produção de cebolinha não exerceram influência na altura, diâmetro, massa fresca e massa seca das plantas.

**Palavras chave:** hortaliça, hidroponia, cultivo protegido, *slab*, *Allium fistulosum* L.

## 1. INTRODUÇÃO

A cebolinha comum (*Allium fistulosum* L.), originária da Sibéria, e a cebolinha (*Allium schoenoprasum*), originária da Europa continental, são condimentos muito apreciados pela população e cultivados em grande parte dos lares brasileiros. De modo geral, o uso da cebolinha melhora o sabor e a qualidade nutritiva do alimento (SANTOS et al., 1996).

A cebolinha é considerada uma planta perene, apresenta folhas cilíndricas e fistulosas, com 0,3 a 0,5 m de altura, coloração verde escura, tendendo para o glauco (verde azulado). *A. fistulosum*, produz um pequeno bulbo cônico, envolvido por uma película rósea, com perfilhamento e formação de touceira. Dentre as cultivares de cebolinha, as mais conhecidas são a Todo Ano, Futonegui e Hossonegui. Contudo, a cultivar tradicionalmente cultivada é "Todo Ano", a qual apresenta folhas de coloração verde-clara. Também têm sido introduzidas cultivares japonesas tipo Nebuka‖ ou Evergreen‖, de coloração verde-intensa (FILGUEIRA, 2000).

Em relação aos sistemas de cultivo, o sistema semi-hidropônico vem sendo introduzido como forma de cultivo por proporcionar um melhor controle da cultura, como pragas, doenças, economia de água, cultivo fora de época, comparando-o ao cultivo em solo. Na casa de vegetação tem-se uma melhor proteção de intempéries climáticas e se diferencia dos demais sistemas de cultivo por ser uma alternativa aprimorada, a qual utiliza porções de substratos, alocados em bancadas, sem manter contato com o solo, com sistema de irrigação interno, o que facilita a organização das plantas, diminui o espaço utilizado para as plantações, otimiza o monitoramento de doenças e deficiências nas plantas (GONÇALVES et al., 2014).

Murilo João Ramos, Vinícius Gustavo Lira Borsa, Lucas Adona, Paulo Sérgio Gomes da Rocha, Amito José Teixeira, Lucas Luis Bruschi Demoliner, Guilherme Henrique Parmigiani
Maicon Augusto Lussani, Sergio Henrique Mosele, Antonio Sergio do Amaral

# CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE CEBOLINHA CULTIVAR TODO ANO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

No sistema de cultivo semi-hidropônico é possível obter elevada produção sem contato com o solo, diminuindo a utilização de agroquímicos nas culturas. Para isso é importante que o ambiente de cultivo protegido permita que a planta tenha boa luminosidade, para que a mesma possa realizar a fotossíntese e proporcionar um bom desenvolvimento para a cultura. Adicionalmente, a ventilação lateral na casa de vegetação é outro fator de suma importância, pois acarreta na diminuição da temperatura interna. Pois, temperaturas altas quando associada a umidade elevada no interior da estufa pode aumentar a probabilidade de ocorrência de doenças, principalmente as de natureza fúngica (PAGNAN & MONEGAT, 2015).

Quanto a solução nutritiva para cultivo hidropônico, ela deve ter pH entre 5,5 e 6,5 e pode ser elaborada a partir da mistura dos nutrientes nitrogênio, magnésio, óxido de potássio, fósforo, enxofre, cobre, manganês e zinco. Ou ainda, algumas empresas dispõem para comercialização a mistura pronta, que, conforme recomendação deve ser diluída em uma quantidade determinada de água (GIMÉNEZ, et al., 2008).

Em relação aos sistemas de cultivo hidropônico, estes podem ser aberto ou fechado. O sistema hidropônico aberto pode ser definido como um sistema onde não ocorre a reutilização da solução nutritiva drenada, esta forma é a mais utilizada em sistemas de produção fora do solo. O sistema hidropônico fechado é onde ocorre a recirculação da solução nutritiva, e é um sistema que objetiva a diminuição de impactos ambientais, mas o risco de perdas de plantas por doenças é maior (GONÇALVES et al., 2016).

Quanto aos tipos de substratos a serem usados nos sistemas hidropônicos, estes devem ser escolhidos de acordo com características físicas e químicas adequadas com a espécie a ser plantada. De modo geral, as características desejáveis nos substratos são alta porosidade, boa capacidade de retenção de água, alta capacidade de troca catiônica, baixa densidade, homogêneo, boa agregação das partículas nas raízes, isentos de sementes de plantas daninhas e fito patógenos. Devem ser considerados também, aspectos econômicos, para que sua utilização seja viável (VALLONE et al., 2010).

A densidade de plantio influencia a produtividade e qualidade da cebolinha (SANTOS et al., 1996). No cultivo em canteiro a céu aberto podem ser utilizados espaçamentos mais adensados como 10 x 10 cm a densidades maiores como 20 x 30 cm (SANTOS et al., 1996) ou 25 x 30 cm (FILGUEIRA, 2000).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de cebolinha no sistema de cultivo semi-hidropônico com diferentes espaçamentos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em estufa do Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim. Para a implantação do experimento foram utilizadas mudas de cebolinha (*Allium fistulosum* L.) cultivar "Todo Ano".

As mudas utilizadas foram produzidas em bandeja de poliestireno expandido com 200 células, contendo substrato vegetal Dacko (2019). No momento do transplante as mudas estavam com 35 dias de cultivo (Fig. 1)



Figura 1. Aspecto da muda de cebolinha cultivar "Todo Ano" utilizada para transplante em *slabs* contendo substrato vegetal.

O substrato vegetal Dacko é constituído por turfa canadense, vermiculita e casca de arroz. Os *slabs* foram mantidos em bancadas de madeira com 90 cm de altura (Fig. 2). Após o transplante, as mudas foram irrigadas por meio de mangueiras de gotejamento colocadas internamente na face superior dos *slabs*. Para evitar o encharcamento, os *slabs* foram perfurados na face inferior, de modo a permitir a drenagem do excesso da solução nutritiva no substrato.



Figura 2. Marcação dos espaçamentos nos *slabs* para o transplante das mudas de cebolinha cultivar "Todo Ano".

Os tratamentos utilizados foram constituídos por três espaçamentos: (T1- tratamento controle) 10cm entre plantas e 18cm entre linhas; (T2) 10cm entre plantas e entre linhas e (T3) 5cm entre plantas e 10cm entre linhas (Fig. 3).

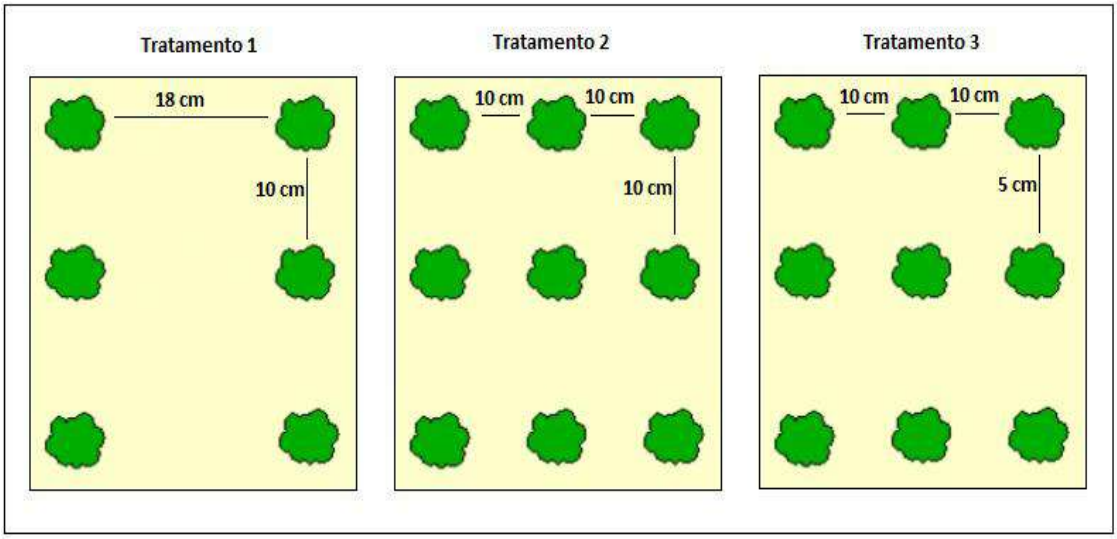



Figura 3. Desenho esquemático dos espaçamentos utilizados nos *slabs* para o cultivo de cebolinha cultivar "Todo Ano" em sistema semi-hidropônico.

A solução hidropônica utilizada para o cultivo foi a Hidrogood (2019). Para o preparo da mesma foram pesados 330g de Composto Hidrogood Fert., 247,5g Nitrato de Cálcio e 10 g Fe EDDHA. Após pesados os sais da solução Hidrogood, os mesmos foram dissolvidos separadamente em um becker com o auxílio de um bastão de vidro e em seguida transferido para a caixa plástica com capacidade de 500 L. O preparo da solução era realizado uma vez por semana.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições por tratamento, sendo a unidade experimental constituída por um *slab* contendo substrato vegetal e medindo aproximadamente 1,5 m de comprimento.

Após 40 dias de cultivo foi determinado o diâmetro da planta, com o auxílio de um paquímetro digital; a altura da planta com o auxílio de uma régua graduada; e o peso da massa fresca e seca das plantas (Fig. 4A). Para determinar a massa fresca foram coletadas três amostras dos *slabs*, sendo cada uma delas formadas a partir de cada muda transplantada. A coleta foi realizada com o auxílio de uma faca, sendo o corte efetuado a 2 cm da superfície do *slab* (Fig. 4B). Após a coleta, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel pardo e pesado em balança digital.

# CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE CEBOLINHA CULTIVAR TODO ANO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS




Figura 4. Avaliação do diâmetro das plantas de cebolinhas cultivar "Todo Ano" (A) e corte das amostras (B), após 40 dias de cultivo em sistema semi-hidropônico.

Para a determinação da massa seca das plantas, colocou-se os sacos contendo as amostras em uma estufa de aeração forçada a uma temperatura de 60ºC, durante 72 horas e/ou até a obtenção de peso constante do material vegetal.

Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância utilizando o programa SANEST (Sistema de Análise Estatística). Sendo as médias obtidas comparadas estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise da variância, o fator espaçamento não foi significativo para as variáveis analisadas de cebolinha cultivar "Todo Ano" após 40 dias de cultivo em sistema semi-hidropônico.

Pode-se observar (Tabela 1), que a altura média das plantas variaram entre 42 e 47 cm (T1 e T2, respectivamente). Em termos absoultos, o maior comprimento foi obtido com o menor espaçamento entre plantas (10 x 5 cm). Essa resposta pode ser atribuida ao adensamento das plantas. Devido a concorrencia pela captaçao de energia luminosa as plantas tendem a alongar-se. Por outro lado, quanto a variável diâmetro da planta, as médias variaram entre 4,13 mm (T3) e 7,75mm (T1), não havendo diferença estatitica entre tratamentos (Tab. 1).

Tabela 1. Altura da planta (cm) e diâmetro da planta (mm) de cebolinha cultivar "Todo Ano", após 40 dias de cultivo em sistema semi-hidropônico com diferentes espaçamentos.

| | **Variáveis** | |
|---|---|---|
| **Espaçamentos** | Altura da planta (cm) | Diâmetro da planta (mm) |
| T1 (18 x 10 cm) | 45,5 a | 4,75 a |
| T2 (10 x 10 cm) | 42,0 a | 4,15 a |
| T3 (10 x 5 cm) | 47,0 a | 4,13 a |

*Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em relação a variável massa fresca da planta não houve diferença entre os tratamentos. Contudo, pode-se observar na tabela 2 que em termos absoluto, a maior média da massa fresca (25,19 g) foi obtida no espaçamento de 18 cm entre linhas e 10 cm entre plantas T1– tratamento controle (Tabela 2). Quanto a variável massa seca, nota-se que a maior média absoluta para a variável massa seca (2,12 g) (Fig. 5), também foi obtida no tratamento controle, sendo a menor média absoluta (1,51 g) obtida no espaçamento (10 x 5 cm).

Simões et al. (2016) avaliando o efeito da densidade de plantio na produção de cebolinha orgânica, conduziu o experimento em canteiros a céu aberto e obtiveram um decrescimento nas médias das variáveis analisadas, à medida que aumentaram a densidade de plantio das plantas.

Tabela 2. Massa fresca (g) e massa seca (g) de plantas de cebolinha cultivar "Todo Ano", após 40 dias de cultivo em sistema semi-hidropônico com diferentes espaçamentos.

| **Espaçamentos** | **Variáveis** | |
|---|---|---|
| | Massa fresca (g) | Massa seca (g) |
| T1 (18 x 10 cm) | 25,19 a | 2,12 a |
| T2 (10 x 10 cm) | 17,92 a | 1,54 a |
| T3 (10 x 5 cm) | 19,01 a | 1,51 a |

*Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.




Figura 5. Aspecto visual da matéria seca obtida da cebolinha cultivar "Todo Ano".

## 4. CONCLUSÃO

Para as condições utilizadas neste experimento, pode-se concluir que:

Os espaçamentos utilizados não interferiram na altura, diâmetro, massa fresca e seca de cebolinha cultivar "Todo Ano" cultivada em sistema semi-hidropônico.

## 5. REFERÊNCIAS

DACKO. Disponivel em: <ww.dacko.com.br/equipamentos-para-viveiro-pt/substrato-vermiculita-osmocote>. Acesso em: 20 jan. 2019.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000.

GIMÉNEZ G.; ANDRIOLO, J.; GODOI, R. Cultivo sem solo de morangueiros. Ciência Rural. Santa Maria. V. 38, n. 1, p 273-279. Janeiro/fevereiro, 2008.

GONÇALVES, M. A.; COCCO, C.; ANTUNES, L.E.C. Morango fora do solo. Revista Cultivar: Hortaliças e Frutos. Fevereiro-maço, 2014. Ano XII, nº 84.

GONÇALVES, M.A.; VIGNOLO, G.K.; ANTUNES, L.E.C.; REISSER JUNIOR, C. Produção de morangos fora do solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Clima Temperado. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Documentos 410. Pelotas, 2016.

HIDROGOOD. Disponivel em: <https://hidrogood.com.br/produto/insumos/fertilizantes/hidrogood-fert-nacional>. Acesso em: 20 jan. 2019.

PAGNAN, Heitor A; MONEGAT, V; Morango cultivado em substrato ou em semi hidropônico. Revista Campo & Negócios. 2015. Disponível em Acesso em 02/09/2017.

SANTOS, J. H. R. dos; BERTINI, L. A.;SILVA, M. S. B. da; MENDES, S.P.; SALES, P. V. P.; PINTO, J. H.Técnica de cultivo da cebolinha em Fortaleza – Ceará. Revista Caatinga, Mossoró, v.9, n.1/2, p.37-46, 1996

SIMÕES, A.C.; ALVES, G.K.E.; SILVA, N.M.; FERREIRA, R.L.F; ARAÚJO NETO, S.E. Densidade de plantio e método de colheita de cebolinha orgânica. Agropecuária Científica no Semiárido, v.12, n.1, p.93-99, 2016.

# CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE CEBOLINHA CULTIVAR TODO ANO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

VALLONE, H.S.; GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; CUNHA, R.L.; CARVALHO, G.R.; DIAS, F.P. Efeito de recipientes e substratos utilizados na produção de mudas de cafeeiro no desenvolvimento inicial em casa de vegetação, sob estresse hídrico. Ciência e agrotecnologia, v. 34, n. 2, p. 320-328, 2010.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS ESTEQUIOMÉTRICO PARA CULTURAS DE *Bacillus megaterium* EM FRASCOS AGITADOS

**Paloma Truccolo Reato**[1]
**Guilherme de Souza Hassemer**[1]
**Rosicler Colet**[1]
**Alexander Junges**[1]
**Eunice Valduga**[1]
[1]Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Erechim, Avenida Sete de Setembro, 1621, Erechim/ RS
palomareato@gmail.com, guilherem.hassemer@hotmail.com, rosicler.colet@yahoo.com.br, veunice@uricer.edu.br, junges@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A determinação dos parâmetros cinéticos e estequiométricos em sistemas de bioprodução são essenciais para visualizar o comportamento do micro-organismo de interesse de forma mais aprofundada. Os mesmos permitem definir e visualizar os momentos ao longo do cultivo onde ocorrem as maiores taxas de conversão de substrato em produtos, bem como acúmulo de células. O Bacillus megaterium é uma bactéria gram-postiva produtora de polihidroxibutirato (P(3HB)), um polímero biodegradável com potencial aplicação como embalagem de alimentos, desta forma, o presente trabalho buscou verificar os parâmetros estequiométricos de culturas de B. megaterium em frascos agitados utilizando meio mineral como substrato. Os resultados indicaram que os pontos máximos de produtividade e conversão ocorreram até 24 h de cultivo, com a maior velocidade específica de crescimento estando próxima a 8 h e a maior produtividade sendo observada após 16 h. As próximas etapas do estudo focarão na utilização de diferentes meios de cultura e a comparação dos resultados, de modo a maximizar a taxa de produção e maximizar o rendimento da cultura.*

***Palavras chave:*** *Bioprodução, Bacillus megaterium, Cinética de produção, Parâmetros estequiométricos.*

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de polímeros derivados do petróleo, substituindo o uso de materiais como o papel e o vidro, se tornou parte da sociedade atual. Isto ocorre principalmente devido à resistência e durabilidade dos polímeros bem como o preço baixo e as propriedades mecânicas. Porém, estas características fazem com que os mesmos se tornem um problema após o descarte. O acúmulo de plásticos no meio ambiente representa um problema global e assim, buscam-se formas de tratar estes resíduos.

Uma alternativa que tem apresentado sucesso é a produção de biopolímeros. Dentre os biopolímeros mais estudados estão os polihidroxialcanoatos - PHAs. Os PHAs são poliésteres sintetizados por diversos micro-organismos, sua função principal é agir como reserva de energia para as células. Dentre os PHAs, o polihidroxibutirato (P(3HB)) é um dos mais estudados, uma vez que o mesmo é considerado um possível substituto de polímeros petroquímicos em diversos setores industriais (Park; Choi; Lee, 2005).

Diversos gêneros de bactérias são capazes de produzir o P(3HB), dentre eles, o *Bacillus megaterium* foi um dos primeiros micro-organismos estudados na produção de P(3HB). Esta espécie apresenta resistência a temperatura e pressão osmótica e é capaz de utilizar diversos compostos como fonte de carbono, como sacarose, glicerol e lactose (Faccin, 2012; Kumar *et al.*, 2013; Kavitha; Rengasamy; Inbakandan, 2017).

Contudo, para compreender melhor o comportamento metabólico do *B. megaterium*, é necessário determinar os parâmetros cinéticos e estequiométricos da cultura. Assim sendo, o presente trabalho visou calcular e determinar os parâmetros estequiométricos de culturas de *B. megaterium* em meio mineral acrescido de glicose e sulfato de amônio, visando maximizar o rendimento das mesmas e determinar as condições ideais de bioprodução

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de obter parâmetros estequiométricos e verificar a cinética de consumo de substrato (carbono e nitrogênio), produção celular e produção de P(3HB) realizaram-se coletas em diferentes pontos do processo. Para bioprodução em frascos agitados, 10 mL de amostra foram coletados a cada 4 h. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

### 2.1 Microorganismo e meio de cultura

A bactéria *Bacillus megaterium* ATCC 14581 foi utilizada durante os ensaios, sendo que mesma foi adquirida da Fundação André Tozello e mantida em ultra freezer, a -80 ± 2 ºC, em solução crioprotetora (20 % glicerol) até o momento de sua utilização. Como meio de cultivo, utilizou-se meio mineral conforme a metodologia proposta por Faccin (2012) e Wang and Lee (1997). O meio mineral (Tabela 1) foi suplementado com glicose (16 $g \cdot L^{-1}$) e sulfato de amônio (2 $g \cdot L^{-1}$).

Tabela 1 – Composição do meio mineral e solução de micronutrientes

| Composto | Concentração | Composto | Concentração ($mg \cdot L^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| $Na_2HPO_4$ | 3,6 $g \cdot L^{-1}$ | $H_3BO_3$ | 300 |
| $KH_2PO_4$ | 1,5 $g \cdot L^{-1}$ | $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ | 200 |
| $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0,05 $g \cdot L^{-1}$ | $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ | 30 |
| Ácido Cítrico | 0,1 $g \cdot L^{-1}$ | $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ | 30 |
| $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ | 0,01 $g \cdot L^{-1}$ | $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ | 30 |
| $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0,008 $g \cdot L^{-1}$ | $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ | 30 |
| Sol.micronutrientes | 1 $mL \cdot L^{-1}$ | $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | 10 |

### 2.2 Velocidades globais instantâneas e específicas

A partir dos perfis de concentração celular global, formação de produto global e consumo de substrato global (carbono orgânico total - COT e nitrogênio total - NT) em relação ao tempo, foi possível determinar, através de balanço de massa para cada componente, as velocidades de crescimento microbiano ($r_x$), formação de produto ($r_p$) e consumo de substrato ($r_c$ e $r_n$) descritas nas Equações 1, 2, 3 e 4, conforme Bailey *et al*. (1986).

$$r_x = \frac{dX}{dt} \quad (1)$$

$$r_p = \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

$$r_c = \frac{dC}{dt} \quad (3)$$

$$r_n = \frac{dN}{dt} \quad (4)$$

Dividindo-se as velocidades instantâneas pela concentração celular naquele instante, as velocidades específicas de crescimento ($\mu_x$), formação de produto ($\mu_p$) e consumo de substrato ($\mu_c$ e $\mu_n$) foram obtidas (Equações 5, 6, 7 e 8), de acordo com Bailey *et al.* (1986).

$$\mu_x = \frac{r_x}{X} \quad (5)$$

$$\mu_p = \frac{r_p}{X} \quad (6)$$

$$\mu_c = \frac{r_c}{X} \quad (7)$$

$$\mu_n = \frac{r_n}{X} \quad (8)$$

A determinação das velocidades constantes (fase exponencial), foi realizada através do coeficiente angular da melhor reta ajustada nas curvas que representam as cinéticas de crescimento e produção de P(3HB).

### 2.3 Fatores de conversão global

Conversão em produto

O fator de conversão de carbono orgânico global em P(3HB), $Y_{P/C}$ (g P(3HB)·g $COT^{-1}$), foi expresso pela Equação 9.

$$Y_{P/C} = \frac{r_p}{r_c} = -\frac{dP}{dC} \quad (9)$$

O fator de conversão de nitrogênio global em P(3HB), $Y_{P/N}$ (g P(3HB)·g $NT^{-1}$), foi expresso pela Equação 10.

$$Y_{P/N} = \frac{r_p}{r_n} = -\frac{dP}{dN} \quad (10)$$

Fatores de conversão celular

O fator de conversão de carbono orgânico global em células, $Y_{X/C}$ (g células·g $COT^{-1}$), foi expresso pela Equação 11.

$$Y_{X/C} = \frac{r_x}{r_c} = -\frac{dX}{dC} \quad (11)$$

O fator de conversão de nitrogênio global em células, $Y_{X/N}$ (g células·g $NT^{-1}$), foi expresso pela Equação 12.

$$Y_{X/N} = \frac{r_x}{r_n} = -\frac{dX}{dN} \quad (12)$$

A relação entre a produção de P(3HB) e a produção de células global, $Y_{P/X}$ (g P(3HB)·g $células^{-1}$), foi expressa pela Equação 13.

$$Y_{P/X} = \frac{r_p}{r_x} = -\frac{dP}{dX} \quad (13)$$

Onde:
$r_x$ = velocidade de crescimento das células (g·L·$h^{-1}$);
$r_n$ = velocidade de consumo de nitrogênio (g·L·$h^{-1}$);
$r_c$ = velocidade de consumo de carbono orgânico (g·L·$h^{-1}$);
$r_p$ = velocidade de produção de P(3HB) (g·L·$h^{-1}$).

### 2.4 Produtividade global

A produtividade global tanto para células como para P(3HB) é definida, como as velocidades $r_x$ e $r_p$, segundo Bailey *et al*. (1986).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos cultivos realizados, observa-se que a produtividade permanece próxima a 0 por quase 12 h, aumentando então exponencialmente até atingir o ponto máximo de produtividade de 0,040 g·L·$h^{-1}$ em 20 h de cultivo, sofrendo então uma redução gradual na produtividade, até atingir um ponto de equilíbrio próximo a 36 h. Este comportamento está associado a função do P(3HB) no interior da célula. Como o mesmo é produzido e armazenado como uma reserva de energia, o metabolismo celular pode optar por consumir o mesmo no momento que a célula vegetativa se sentir em posição de desvantagem, seja pela falta de substratos viáveis, presença de compostos tóxicos ou alterações na temperatura e oxigenação do meio (Hong; Lin; Lin, 2008; Suarez *et al*., 2012; Kosseva; Rusbandi, 2018; Thomas; Balakrishnan; Sreekala, 2018)

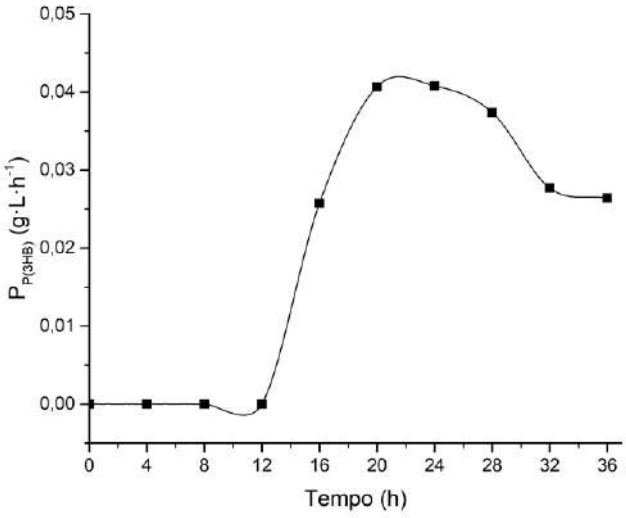



Figura 1. Produtividade global de P(3HB) ao longo da bioprodução

Além da produtividade, a relação entre a produção de P(3HB) e o aumento na quantidade de células também foi avaliada (Figura 2).

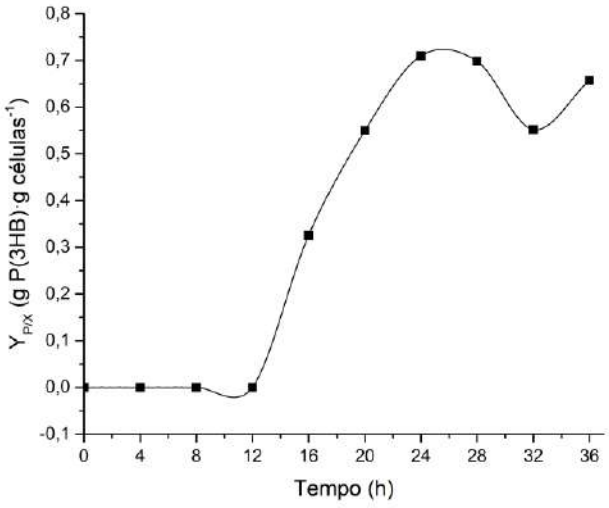



Figura 2. Relação entre a produção de P(3HB) e a produção de células ($Y_{P/X}$)

O máximo fator $Y_{P/X}$ no cultivo em meio mineral foi de 0,79 g·g$^{-1}$ após 24 h. Observando o comportamento do cultivo, novamente observa-se que o início do aumento exponencial foi lento no meio mineral (cerca de 12 h). Após o período, a cultura exibiu um aumento gradual seguido de queda e subsequente aumento entre 32 h e 36 h. Este comportamento é indicativo de alterações no rendimento específico do produto e está relacionado, possivelmente, a alterações no metabolismo celular, uma vez que a rota metabólica da produção de P(3HB) age de forma simultânea com o ciclo tricarboxílico e compete ativamente pelas moléculas de Acetil-CoA (Chanprateep, 2010; Colet, 2016; Możejko-Ciesielska; Kiewisz, 2016; Yeo *et al*., 2017).

A evolução da velocidade específica de crescimento global ($\mu_x$) e da produtividade global em células ($P_x$) durante a bioprodução foram avaliadas na sequência, com os resultados apresentados na

Figura 3.

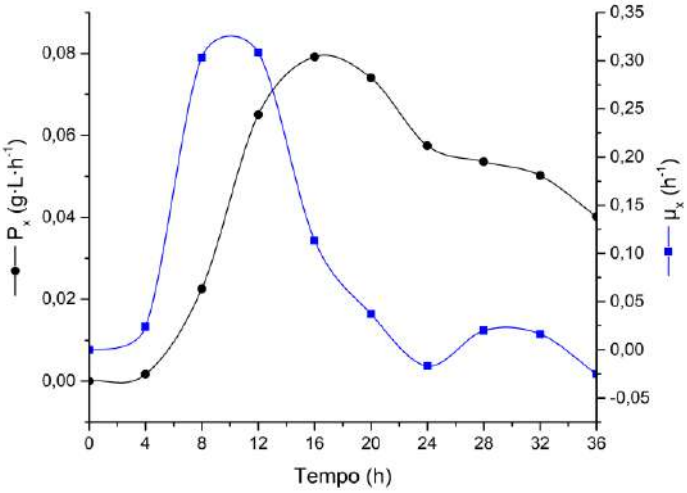



Figura 3. Evolução da velocidade específica de crescimento ($\mu_x$) e da produtividade em célula ($P_x$)

Os dados mostram que para a produtividade de células, a mesma aumenta exponencialmente no período de 4 h a 16 h, seguido então de gradual redução. Nota-se ainda que o ponto máximo de produtividade para células ocorreu em 16 h, com uma taxa de produção de 0,079 g·L·h$^{-1}$ em 16 h.

A velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{max}$) para o cultivo foi de 0,308, com um aumento significativo entre 4 h e 8 h, com estabilização da velocidade até 12 h e subsequente redução ao longo do cultivo. O aumento considerável no valor de $\mu_{max}$ se deve principalmente à concentração de substrato presente, uma vez que a abundância do mesmo incentiva a duplicação celular, até que conforme a quantidade de substrato disponível se esgota, a velocidade de crescimento reduz gradualmente até se aproximar a zero. Em contrapartida, uma quantidade excessiva de substrato, também, pode impactar negativamente na velocidade de crescimento e causar uma redução do $\mu_{max}$, muitas vezes devido à elevação da pressão osmótica ou redução na transferência de massa e oxigenação da cultura (Colet, 2016).

Ainda em relação a quantidade de substrato presente no meio, a Figura 4 descreve os fatores de conversão de COT e NT em produto.

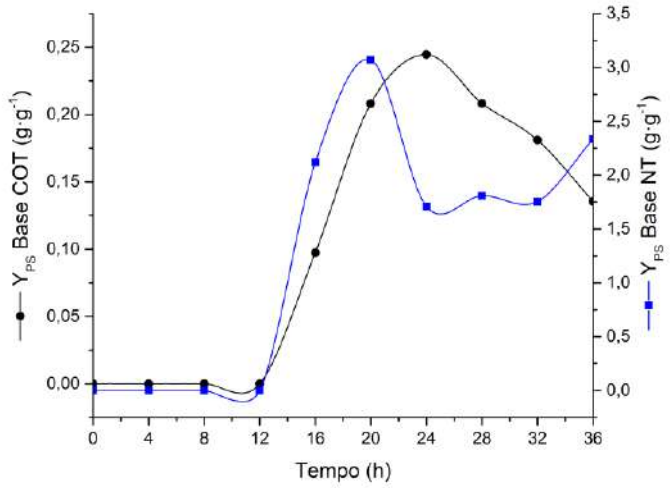



Figura 4. Fatores de conversão de COT e NT em produto ao longo da bioprodução

O maior fator de conversão de COT em produto para foi de 0,244 g·g$^{-1}$ em 24 h, enquanto que para NT o ponto máximo ocorreu em 20 h (3,07 g·g$^{-1}$). Observando as tendências, novamente observa-se que após uma fase estacionária inicial, a conversão aumenta exponencialmente, com quedas periódicas e aumento durante a duração da cultura. Estas

quedas, novamente, ressaltam os períodos onde houve o consumo de P(3HB) pelas células, possivelmente relacionado a alterações no metabolismo da cultura.

Em relação a conversão de substratos (COT e NT) em células, o comportamento ao longo do cultivo está descrito na

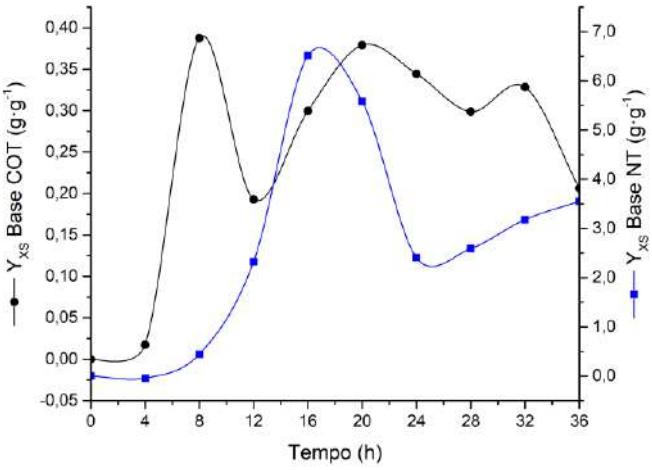



Figura 5. Fatores de conversão de COT e NT em células ao longo da bioprodução

Neste caso, observa-se que para o COT, o máximo da conversão (0,388 $g \cdot g^{-1}$) ocorre em 8 h de cultivo, após isso a conversão cai significativamente e volta a subir, atingindo 0,379 g·g-1 em 20 h. Após 20 h observa-se que a conversão volta a sofrer uma queda, embora de modo mais gradativo até 28 h, onde então novamente ocorre um aumento na conversão, seguido de uma brusca redução em 36 h. Para NT, a conversão máxima de 3,069 $g \cdot g^{-1}$ foi atingida em 20 h, com uma queda acentuada até 24 h, seguida de gradual aumento até o encerramento da cultura.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados encontrados ao decorrer do estudo, foi possível compreender melhor o comportamento de *B. megaterium* ATCC 14581, possibilitando que os próximos cultivos sejam alterados de modo a melhor se adequar a suas particularidades. Na sequência, os parâmetros cinéticos calculados para os cultivos em frascos agitados serão comparados com dados referentes a cultivos utilizando meios de cultura compostos por diversos coprodutos derivados da agroindústria, de modo a verificar se as mesmas tendências são observadas, visando maximizar a produção de P(3HB).

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a URI – Erechim e CAPES pelo apoio recebido ao decorrer do presente estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

Bailey, J.; Bailey, J. E.; Ollis, D. F.; Simpson, R. J.; Ollis, D. F., 1986. *"Biochemical Engineering Fundamentals"*. 2nd. ed. New York: McGraw-Hill.

Chanprateep, S., 2010. "Current trends in biodegradable polyhydroxyalkanoates". In *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 110, n. 6, p. 621–632.

Colet, R., 2016. *"Bioprodução de Carotenoides por Sporidiobolus salmonicolor CBS 2636 em Biorreator em Batelada alimentada e Semicontínuo com Resíduos Agroindustriais"*. Ph.D. thesis, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim.

Faccin, D.J.L., 2012. *"Avaliações das condições de cultivo para aumento da produção de P(3HB) por Bacillus megaterium e modelagem do bioprocesso"*. Ms.C. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hong, S.G.; Lin, Y.C. and Lin, C.H., 2008. "Crystallization and degradation behaviors of treated polyhydroxybutyrates". In *Reactive and Functional Polymers*, Vol. 68, n. 11, p. 1516–1523.

Kavitha, G.; Rengasamy, R. and Inbakandan, D., 2017. "Polyhydroxybutyrate production from marine source and its application". *In Biological Macromolecules*, Vol. 111, p. 102-108.

Kosseva, M.R. and Rusbandi, E., 2018. "Trends in the biomanufacture of polyhydroxyalkanoates with focus on downstream processing". In *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 107, p. 762–778.

Kumar, P.; Patel, S.K.S.; Lee, J. and Kalia, V.C., 2013. "Extending the limits of Bacillus for novel biotechnological

applications". In *Biotechnology Advances*, Vol. 31, n. 8, p. 1543-1561.

Możejko-Ciesielska, J. and Kiewisz, R., 2016. "Bacterial polyhydroxyalkanoates: Still fabulous?" In *Microbiological Research*, Vol. 192, n. 2016, p. 271–282.

Park, S.J.; Choi, J.I. and Lee, S.Y., 2005. "Short-chain-length polyhydroxyalkanoates: Synthesis in metabolically engineered Escherichia coli and medical applications". In *Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol. 15, n. 1, p. 206–215.

Suarez, C.A.G.; Montano, I.D.C; Nucci, E.R.; Iemma, M.R.D.C.; Giordano, R.DeL.C. and Giordano, R.DeC., 2012. "Assessment of the Metabolism of Different Strains of *Bacillus megaterium*". In *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Vol. 55, n. 4, p. 485–490.

Thomas, S.; Balakrishnan, P. and Sreekala, M.S., 2018. "*Fundamental Biomaterials: Polymers"*. 1. ed. Amsterdam: Woodhead Publihing.

Wang, F. and Lee, S.Y., 1997. "Poly(3-Hydroxybutyrate) Production with High Productivity and High Polymer Content by a Fed-Batch Culture of Alcaligenes latus under Nitrogen Limitation". In *Applied and environmental microbiology*, Vol. 63, n. 9, p. 3703–6.

Yeo, J.C.C.; Muiruri, J.K.; Warintorn, T.; Li, Z. and He, C., 2017. "Recent advances in the development of biodegradable PHB-based toughening materials: Approaches, advantages and applications". In *Materials Science and Engineering: C*, n. November, p. 0–1.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CINÉTICA DA BIOPRODUÇÃO DE CAROTENOIDES POR *PHAFFIA RHODOZYME* Y-17268 EM DIFERENTES PROCESSOS COM RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

**Paloma Truccolo Reato**[1]
**Rosicler Colet**[1]
**Luana Gayeski**[1]
**Letícia Urnau**[1]
**Clarice Stefens**[1]
**Eunice Valduga**[1]
[1]Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Erechim, Avenida Sete de Setembro, 1621, Erechim/ RS
palomareato@gmail.com, rosicler.colet@yahoo.com.br, luanagayeski13@gmail.com, letiurnau@gmail.com, clarices@uricer.edu.br, veunice@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A produção de carotenoides por rota biotecnológica tem se expandido nos últimos anos, uma vez que permite a obtenção deste produto em qualquer época do ano. Para tanto é necessário disponibilizar condições favoráveis para o desenvolvimento da levedura como: pH, temperatura, aeração, agitação, luminosidade e nutrientes. Assim este trabalho teve por objetivo estudar a comparação da bioprodução de carotenoides pela levedura Phaffia rhodozyma Y-17268 em biorreator em processo batelada simples, alimentada e semicontínuo, empregando substrato à base de resíduo agroindustrial. A produção foi realizada em biorreator com 1,5 vvm, 250 rpm, 25oC e pH inicial 4,0, por por um período de 96 horas para o processo em batelada simples e alimentada e 288 h para o processo semicontínuo, com corte de 50% a cada 96h de bioprodução. No sistema em batelada simples e batelada alimentada a máxima produção de carotenoides específicos foram de 638,79 µg/g e 835,34 µg/g, e no sistema semicontínuo se obteve uma maior bioprodução de 886 µg/g de carotenoides específicos em 192 h de cultivo. Desta forma, foi demonstrado que o sistema semicontínuo empregando matérias-primas agroindustriais é uma alternativa promissora para o aumento de escala da bioprodução de carotenoides.*

***Palavras chave:*** *Pigmentos; Processo Semicontínuo; Batelada; Batelada Alimentada; Resíduos Agroindustriais.*

## 1. INTRODUÇÃO

O interesse por carotenoides tem aumentado nos últimos anos, devido à crescente demanda destes compostos nas indústrias de alimentos (corantes e em suplementos nutricionais), farmacêutica, cosmética e de ração. O valor de mercado dos carotenoides alcançou US $ 1,5 bilhão em 2017 e deve alcançar US $ 2,0 bilhões até 2022, a uma taxa de crescimento anual de 5,7% para o período de 2017-2022 (BCC Research, 2018). Tal fato permitiu que houvesse grande interesse dos pesquisadores em descobrir novas fontes, processos e técnicas que pudessem ser empregadas para intensificar a produção destes pigmentos por micro-organismos. Os carotenoides obtidos pela síntese química envolvem um grande número de reações complexas, enquanto que estes mesmos carotenoides estão presentes naturalmente em microalgas, bactérias, leveduras e fungos (Fábregas *et al*., 2001; Hui *et al*., 2007; Bhosale *et al*., 2004; Colet *et al*., 2015; Tsai *et al*., 2016; Cardoso *et al*., 2016; Valduga *et al*., 2008; Urnau *et al*., 2018).

A procura por compostos com conotação natural, tem resultado em um interesse científico e tecnológico referente à produção de carotenoides por via fermentativa. Nos últimos vinte anos as evidências científicas dão importância aos carotenoides não apenas pela ampla aplicação como corantes de alimentos e como precursores de vitamina A, mas também pelos efeitos benéficos para a saúde humana na diminuição de riscos de doenças degenerativas e fortalecimento do sistema imunológico. Entre as doenças contra as quais os carotenoides podem atuar estão os vários tipos de câncer, doenças cardiovasculares, catarata e degeneração macular (Krinsky and Johnson, 2005; Botella-Pavía and Rodríguez-Concepción, 2006; Vílchez *et al*., 2011; Venil *et al*., 2013; Song *et al*., 2016).

Os carotenoides, em consequência da sua estrutura conjugada de polienos, desempenham funções essenciais, tais como coloração, atividade de pró-vitamina A atividade antioxidante e pro-oxidante. Destacam-se as propriedades antioxidantes dos carotenoides, os quais fundamentam-se na estrutura desses compostos, principalmente no sistema de duplas ligações conjugadas, tornando possível a captação de radicais livres (Young and Lowe, 2001; Veronezi and Jorge, 2011; Mata Gómez *et al*. 2014; Maadane *et al*., 2015; Cardoso *et al*., 2016). As restrições ao uso das mais diversas

substâncias sintéticas em alimentos têm sido impostas por suspeitas de serem carcinogênicos. Sendo assim, o interesse por antioxidantes naturais, especialmente derivados de plantas e/ou carotenoides naturais produzidos por micro-organismos tem aumentado consideravelmente.

A produção de carotenoides por micro-organismos, apresenta algumas vantagens: os pigmentos sintetizados são considerados naturais; alguns micro-organismos são capazes de se desenvolver em substratos de baixo custo; é necessário pequeno espaço para a etapa de síntese; esta não se encontra sujeita às alterações climáticas e, para completar, as condições de cultivo podem ser manipuladas de forma a estimular a produção de um carotenoide específico. Desta forma, vários estudos estão direcionados a encontrar alternativas que possam induzir a síntese de carotenoides e/ou aumentar a eficiência destes sistemas biológicos de forma que eles sejam comercialmente viáveis (Ausich, 1997; Bhosale, 2004; Colet *et al*., 2015 e 2017; Dias *et al*., 2015).

O desenvolvimento de processos biotecnológicos para a produção de carotenoides visa um aumento do rendimento da concentração de carotenoide, assim como também a redução de custos relativos ao processo. Ressalta-se a possibilidade da utilização de subprodutos agrícolas de baixo custo e/ou resíduos, como matérias-primas, onde países em desenvolvimento podem investir neste campo de conhecimento, buscando competir neste mercado, principalmente o Brasil, devido à sua imensa biodiversidade. Na literatura há relatos da utilização de substratos agroindustriais como o soro de queijo (Aksu and Eren, 2005, Valduga *et al*., 2009), o mosto de uva (Buzzini and Martini, 1999), derivados do processamento da cana-de-açúcar (Valduga *et al*., 2008; Barbato, 2014), do processamento de milho (Loss, 2009; Valduga *et al*., 2008) e glicerol da produção de biodiesel (Saenge *et al*., 2011; Valduga *et al*., 2014; Machado and Burkert, 2014; Colet *et al*., 2015; Cardoso *et al*., 2016; Urnau *et al*., 2018).

Visando os benefícios dos carotenoides, regimes de condução (batelada, batelada alimentada e semicontínuo) são considerados eficientes e versáteis para a produção de carotenoides. Em tais processos, especialmente naqueles com altas densidades celulares, a produtividade é alta devido ao grande número de células viáveis no meio de bioprodução. Segundo Mcneil and Harvey (1990) a batelada alimentada permite o controle da concentração de substrato, minimizando os efeitos de inibição e permitindo a sua adição em momentos propícios durante a fermentação. Na literatura, raros são estudos que relatam a produção de carotenoides por micro-organismos em batelada alimentada (Saenge *et al*., 2011; Liu and Wu, 2006).

Os cultivos semicontínuos propiciam grande produção de células por intervalo de tempo. Nesse sistema, o biorreator é carregado no início do cultivo com o meio e o inoculo, sendo então incubado nas condições ótimas. Uma parcela do meio de cultivo com as células de levedura são removidas e substituídas por meio de cultura novo, sem células. Isso pode ser feito a qualquer momento durante o desenvolvimento do cultivo, porém, geralmente é feito após alguns dias de crescimento, quando já se formou uma biomassa relativamente grande (Lourenço, 2006). Com esse procedimento consegue-se obter produto com o mesmo inoculo por um tempo bem maior. Além disso, não há os estágios de preparação de inoculo nem limpeza dos tanques entre um ciclo e outro. O corte deve ser feito quando o micro-organismo está na fase de crescimento exponencial, para não haver fase de adaptação, conseguindo-se assim um processo quase contínuo de produção de biomassa (Borzani *et al*., 2001). Não se encontra nenhum trabalho na literatura referente a este processo para a obtenção de carotenoides.

Porém, raros são os estudos empregando leveduras em sistema semicontínuo para a bioprodução de carotenoides, há relatados da produção de carotenoides pela levedura *Rhodosporidium toruloides* (Dias *et al*., 2015) e *Sporiodiobolus salmonicolor* CBS 2636 (Colet *et al*., 2017).

Neste sentido, é de interesse estudar os parâmetros cinéticos da produção de carotenoides pela levedura *Phaffia rhodozyma* Y-17268 em processos de batelada, batelada alimentada e semicontínuo em biorreator com resíduos agroindustriais, visando obter pigmentos naturais capazes de catalisar reações, visando obter compostos com alto valor agregado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Microorganismo e bioprodução de carotenoides

A produção de carotenoides foi realizada com a levedura *Phaffia rhodozyma* Y-17268, gentilmente cedida pelo Laboratório de Engenharia de Bioprocessos da FURG-Universidade Federal de Rio Grande. Para o preparo do inoculo, uma alçada de células da cultura estoque foi transferida para um erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de meio YM (Yeast Malt Extract): 3 g/L de extrato de levedura, 3 g/L de extrato de malte, 5 g/L de peptona e 10 g/L de glicose. O meio foi previamente esterilizado em autoclave a 121ºC por 15 min, e então, realizou-se a incubação em agitador orbital a 25°C, 180 rpm por aproximadamente 48 h.

Bioprodução em batelada simples: A produção foi realizada em Biorreator Biostat B (25°C e 250 rpm, 1,5 vvm, ambiente com 1,2 lux, pH inicial de 4,0), contendo 100 mL de inoculo (25°C, 180 rpm, D.O~0,7 U.A) e 900 mL de meio composto de 100 g/L de água de maceração de milho (AMM), 100 g/L de glicerol e 20 g/L de água de parboilização de arroz (APA), por 96 h de bioprodução.

Bioprodução em batelada alimentada: A produção foi realizada em biorreator (25°C e 250 rpm, 1,5 vvm, ambiente com 1,2 lux, pH inicial de 4,0), contendo 50 mL de inoculo (25°C, 180 rpm, D.O~0,7 U.A) e 500 mL de meio composto

de 100 g/L de AMM, 100 g/L de glicerol e 20 g/L de APA. A alimentação foi iniciada após 12h até 84h de produção, com uma taxa de alimentação 75 mL a cada 12 h de bioprodução.

Bioprodução em processo semicontínuo: A produção foi realizada em biorreator (de 2 L, 25ºC, em ambiente com 1,2 lux, 250 rpm e 1,5 vvm de aeração), contendo inicialmente 100 mL de inoculo (25°C, 180 rpm, D.O~0,7 U.A) e 1 L de meio composto por misturas de subprodutos agroindustriais (100 g/L de AMM, 100 g/L de glicerol bruto e 20 g/L de APA) por 96 horas. Os ensaios foram conduzidos por 288 h, realizando cortes de 50 % a cada 96 h de bioprodução, totalizando assim 3 ciclos.

### 2.2 Recuperações de carotenoides

#### 2.2.1 Preparo da amostra

As amostras foram centrifugadas a 3.000x g, 5 ºC por 10 minutos e realizada lavagem com álcool etílico e posterior lavagem com água destilada para remoção de resíduos de glicerol na célula. As mesmas foram congeladas em freezer a ~-80ºC por 5 horas e secas em liofilizador por 36h.

#### 2.2.2 Rompimento celular

À 0,05 g de células secas, foram adicionados 2 mL de dimetilsufóxido – DMSO. As amostras foram submetidas a intervalos de 60 minutos de agitação a 180 rpm e aquecimento de 30ºC em shaker.

#### 2.2.3 Extrações dos pigmentos

Em seguida, adicionou-se 4 mL de acetona, seguido de centrifugações (3.000 g, 5 ºC, 10 min). O sobrenadante foi separado e realizaram-se extrações sucessivas, até que o solvente e as células apresentam-se sem coloração. Nas fases solventes (sobrenadante) foram adicionados 10 mL da solução de NaCl 20% (p/v) e 10 mL de éter de petróleo. Após agitação e separação de fases foi realizado uma filtração com a adição de 2 g de sulfato de sódio e retirada a fase sobrenadante com o auxílio de uma pipeta.

#### 2.2.4 Determinação de carotenoides

A absorbância da amostra após extração foi medida em espectrofotômetro. A concentração total de carotenoides foi estimada através do valor medido da máxima absorbância a 474 nm, utilizando a equação descrita por Davies (1976). O coeficiente de absorbância utilizado foi o referente a astaxantina: E 1%1cm = 2100, para o solvente éter de petróleo (Silva *et al*., 2004).

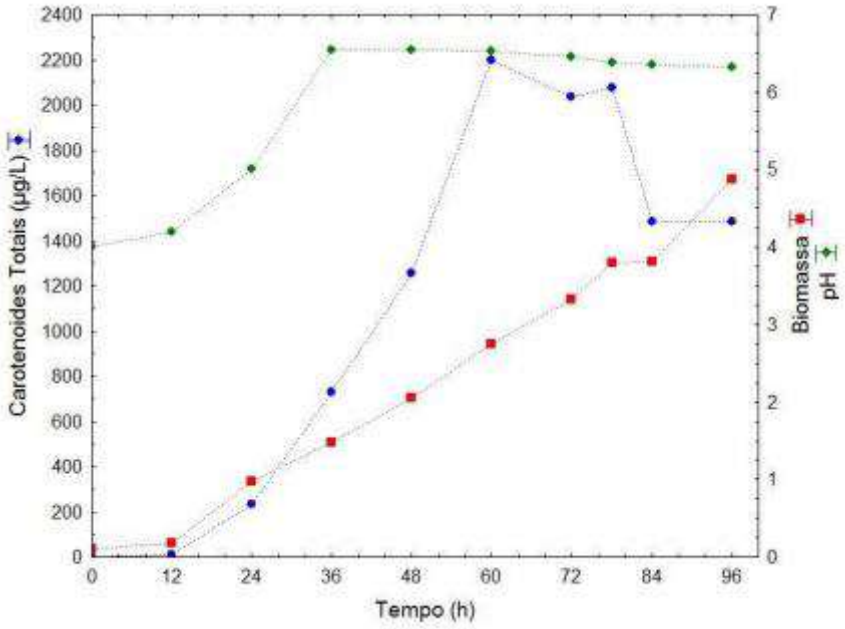
#### 2.2.5 Cinética de Bioprodução

A cada 12 horas para os processos em batelada simples e alimentada, e a cada 24 horas para o processo semicontínuo foram obtidas amostras para a determinação da cinética de bioprodução de carotenoides, biomassa e pH. A biomassa foi determinada após extração dos carotenoides, onde as células foram lavadas com água destilada, centrifugadas (6.500 xg e 5°C por 10 min) e a massa celular foi quantificada através de secagem em estufa (Fanem SE-320) a 105°C. O pH dos ensaios foi determinado usando o potenciômetro (DMPH-2, Digimed).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 apresenta os resultados da bioprodução de carotenoides totais, biomassa celular e o pH dos ensaios realizados em batelada simples em biorreator. A concentração máxima de carotenoides totais foi de 2200 μg/L (carotenoides específicos de 629 μg/g) obtida em aproximadamente 60 h de bioprodução. Com relação a produção de biomassa, a mesma apresentou-se crescente durante praticamente todo o processo (96 h). A diminuição na produção de carotenoides totais após 60 h, mesmo com aumento da biomassa até o fim do processo pode estar relacionada à formação de compostos secundários, como por exemplo a β-ionona que é formada pela oxidação dos carotenoides (Valduga, 2008).

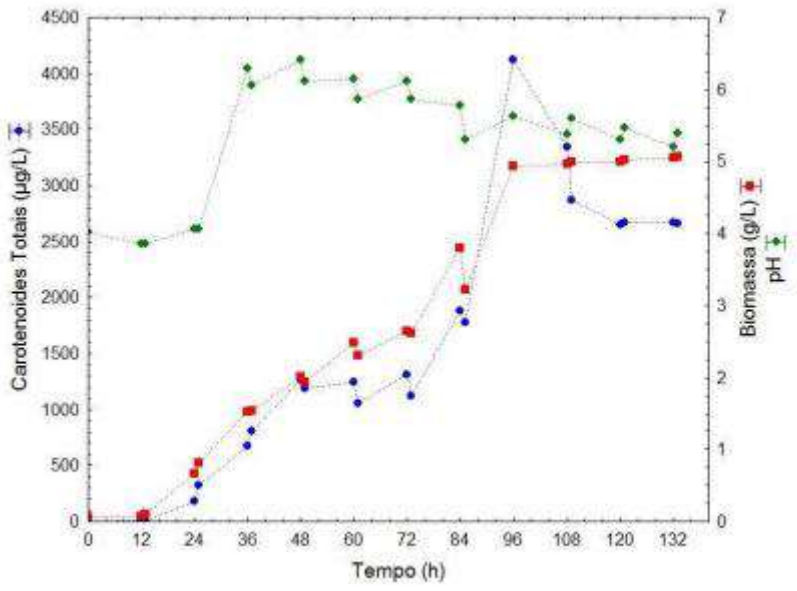
Figura 1 – Cinética de bioprodução de carotenoides totais, biomassa e pH por *Phaffia rhodozyma* Y-17268 em processo batelada simples




Em estudo em biorreator batelada simples, Tatsch (2008) ao produzir carotenoides de *S. salmonicolor* em biorreator obteve concentração máxima de 3426 µg/L, em tempo de bioprodução de 90 h.

A Fig. 2 apresenta os resultados da bioprodução de carotenoides totais, biomassa celular e o pH dos ensaios realizados em batelada alimentada em biorreator com volume de alimentação de 75 mL a cada 12h. A concentração máxima de carotenoides totais foi de 4118 µg/L (carotenoides específicos de 835 µg/g) obtida em 96 h do início da bioprodução, com taxa de alimentação de 75 mL a cada 12 h. Ao correlacionar a produção em batelada alimentada (máxima concentração de carotenoides totais) com a obtida na otimização em batelada simples (2200,29 µg/L – Fig. 1) verifica-se que houve um incremento de aproximadamente 87%, demonstrando que a adição controlada de nutrientes e consequente assimilação de substrato, resultou em maior produção de biomassa e carotenoides totais. Resultados similares foram obtido em trabalhos do grupo. Colet *et al*. (2015) em estudo da produção de carotenoides a partir de *S. salmonicolor* em batelada alimentada, utilizando como substrato resíduos agroindustriais (80 g/L de AMM, 80 g/L de glicerol bruto e 20 g/L de APA), obtiveram máxima produção de 4400 µg/L em 96 h de processo, com uma taxa de alimentação de 112,5 mL a cada 12 h.

Figura 2 – Cinética de produção de carotenoides totais, biomassa e pH por *Phaffia rhodozyma* Y-17268 em processo batelada alimentada com taxa de alimentação de 75 mL a cada 12h.



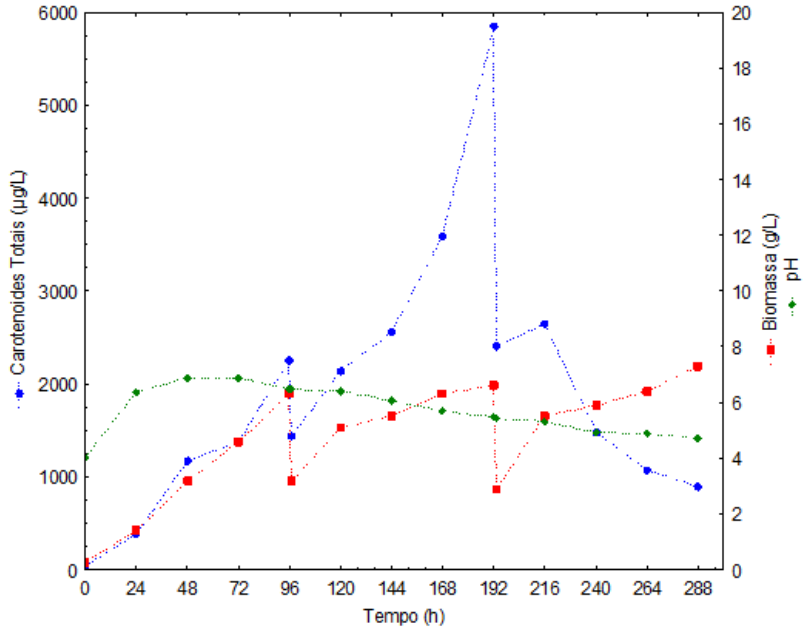
A carotenogênese e o crescimento celular acompanharam a elevação do pH (4,0 a 6,5), sendo que a máxima produção de carotenoides (4118,18 µg/L) foi verificada em pH 5,63. Em estudo similar, Colet *et al*. (2015) da mesma forma verificaram que há um aumento no pH independentemente do volume de meio a ser alimentado. Observaram um aumento de até 7,68 nas primeiras 24 h de bioprodução, ocorrendo após esse período um decréscimo progressivo até valores próximos de 4,0, no fim do processo.

Em estudo para aumento da produção de lipídios e carotenoides de *Rhodosporidium toruloides* com a utilização de batelada alimentada, Dias *et al*. (2015) analisaram o controle do pH, e verificaram que quando a fase de crescimento da levedura foi conduzida em pH 4,0 e a fase de acúmulo de produto em pH 5,0, a produtividade de biomassa, de ácidos graxos totais e de carotenoides foi significativamente maior quando comparada com a produção em batelada simples com pH fixo (4,0 ou 5,0).

A bioprodução de carotenoides por *P. rhodozyma* apresenta formação de carotenoides parcialmente associada ao crescimento celular. Com volume de alimentação de 75 mL a cada 12 h foi verificada a maior concentração de células (4,93 g/L) em 96 h de bioprodução, esse aumento na concentração quando comparado à batelada simples (cerca de 15%), se deve ao fato de alimentar periodicamente o substrato durante o processo. Desta forma as células podem utilizar maiores fontes de carbono e nitrogênio para sua manutenção e produção, convertendo-se também, em maior produção de carotenoides totais e específicos.

A Fig. 3 apresenta a cinética de crescimento celular da bioprodução de carotenoides totais e a evolução do pH em processo semicontínuo com corte de 50% a cada 96 h. A concentração máxima de carotenoides foi de 5851 µg/L em 192 h de bioprodução.

Figura 3 – Cinética de produção de carotenoides, biomassa e Ph para o processo semicontínuo com meio agroindustrial, nas condições operacionais (1,5 vvm, 250 rpm, 25°C, pH inicial 4,0, corte de 50% a cada 96 h até 288 h).




Comparando-se o início da produção com o sistema após cada corte a adaptação da levedura *P. rhodozyma* com o meio ocorreu em menos tempo de bioprodução, necessitando cerca de 24 h para a adaptação com o meio após 96 h e 192 h. Isto se deve ao menor tempo da fase lag (pré-adaptação), devido o processo semicontínuo, no qual o meio não retirado do biorreator serviu de inóculo ao meio de bioprodução adicionado, sendo esta considerada uma das vantagens deste processo.

Verificou-se que após os cortes (Figura 1) ocorreu diminuição momentânea da concentração da biomassa, possivelmente devido à diluição proveniente do meio novo adicionado, mas ocorreu um aumento ao longo da bioprodução, alcançando 7,3 g/L em 288 h. Porém, esta alta concentração de biomassa não significou incremento da concentração de carotenoides, isto pode ser explicado a fato que à medida que os cortes vão sendo realizados à concentração celular aumenta, mas possíveis inibidores produzidos pelo micro-organismo acabam dificultando seu metabolismo e a produção do produto desejado (Otero *et al*., 1998).

O pH é um dos parâmetros ambientais mais importantes que exercem influência no crescimento celular e formação de produto, e de forma geral este aumenta nas primeiras horas de fermentação (Frengova *et al*., 1994). No início da fermentação ocorreu uma elevação do pH (Fig. 1), onde possivelmente isto esteja relacionado a proteólise do micro-organismo, fenômeno natural que ocorre após elevado consumo do substrato, principalmente quando a linhagem não

utiliza outra fonte de carbono; como consequência da degradação de aminoácidos, há formação de amônia e esta pode ser responsável pela elevação do pH. O pH no meio agroindustrial diminuiu após o segundo corte, chegando a maior produção de carotenoides no pH de 5,48.

Colet *et al* (2017) obtiveram a máxima produção de carotenoides em sistema semicontínuo de 7388 μg/L em 288 h, com corte de 50% a cada 96 h, ao utilizar meio otimizado à base de resíduos agroindustriais (80g/L de AMM, 80g/L de glicerol bruto e 20g/L de APA), demonstrando um incremento de aproximadamente 55% na concentração quando comparado ao processo de batelada alimentada (4753 μg/L em 96 h).

Comparando os processos de batelada simples, alimentada e semicontínuo se observou uma maior bioprodução quando se utilizou o sistema semicontínuo, houve um incremento dos carotenoides totais de aproximadamente 166% e de 42% se comparado aos processos batelada simples e batelada alimentada respectivamente, com corte de 50% a cada 96 h.

O sistema semicontínuo tem uma boa eficiência, por apresentar algumas vantagens principais: a redução do tempo de preparo de substratos e inóculo e também o corte na fase lag do micro-organismo o que facilita com que o mesmo se adapte mais rapidamente ao meio e assim produza os metabolitos de interesse.

O uso dos substratos de baixo custo (água de parboilização, água de maceração de milho e glicerol) fazem com que o processo seja viável e aplicável em grande escala e consideravelmente vantajoso, principalmente porque o Brasil é rico nestes substratos, de baixo custo, ou seja, o uso de resíduos (coprodutos) além de tornar o processo menos dispendioso, apresenta-se como uma alternativa ao descarte inadequado desses coprodutos, visto que são ricos em material orgânico.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar os resultados obtidos na bioprodução de carotenoides de *P. rhodozyma* Y-17268, o processo semicontínuo com corte de 50% e tempo de 192h seria um processo recomendado para aumento de escala industrial, levando assim a um incremento na produção e consequente aumento nos rendimentos se comparado a processo em batelada alimentada e simples. Gerando um bioproduto considerado natural e que pode ser aplicado em alimentos sem apresentar riscos à saúde do consumidor

## 5. AGRADECIMENTOS

À URI, FAPERGS e a CAPES pelo apoio financeiro e bolsas de estudos disponibilizadas para a realização deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

Aksu, Z. and Eren, A.T., 2005. “Carotenoids production by the yeast Rhodotorula mucilaginosa: use of agricultural wastes as a carbon source”. *Process Biochemistry*, Vol. 40, p. 2985–2991.

Ausich, R.L., 1997. “Commercial opportunities for carotenoid production by biotechnology”. *Pure & Applied Chemistry*, Vol. 69, n. 10, p. 2169-2173.

Barbato, J.,2014. *Estudo da obtenção de carotenoides por fermentação empregando a levedura Rhodotorula SP. em melaço e caldo de cana-de-açúcar como meio de cultura*. Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Campo Mourão, Paraná.

BCC Research, 2018. “The global market for carotenoids”. 02 Jul. 2019 <https://www.bccresearch.com/market-research/food-and-beverage/the-global-market-for-carotenoids.html>

Bhosale, P., 2004. “Environmental and cultural stimulants in the production of carotenoids from microorganism”. *Applied Microbiogy and Biotechnology*, Vol. 63, p. 351-361.

Botella-Pavía, P. and Rodrígues-Concepcion, M., 2006. “Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods”. *Physiologia Plantarum*, Vol.126, p. 369.

Borzani, W.; Shimidell, W.; Lima, U.A. and Aquarone, E., 2001. *Biotecnología Industrial*. Ed. Edgard Blucher Ltda., v.II., São Paulo.

Buzzini, P. and Martini, A., 1999. “ Production of carotenoids by strains of Rhodotorula glutinis cultured in raw materials of agro-industrial origin”. *Bioresources Tecnology*, Vol. 71, p. 41-44.

Cardoso, L.A.C.; Jackel, S.; Karp, S.G.; Framboisier, X.; Chevalot, I. and Marc, I., 2016. “Improvement of Sporobolomyces ruberrimus carotenoids production by the use of raw glycerol”. *Bioresource Technology*, Vol. 200, p. 374-379.

Colet, R.; Di Luccio, M. and Valduga, E., 2015. “Fed-batch production of carotenoids by Sporidiobolus salmonicolor (CBS 2636): kinetic and stoichiometric parameters”. *European Food Research & Technology*, Vol. 240, p. 173-182.

Colet, R.; Urnau, L.; Bampi, J.; Zeni, J.; Dias, B.B.; Rodrigues, E.; Jacques, R.A.; Di Luccio, M. and Valduga, E., 2017. “Use of low-cost agro products as substrate in semi-continuous process to obtain carotenoids by Sporidiobolus salmonicolor”. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Vol. 11, p. 268-274.

Dias, C.; Sousa, S.; Caldeira, J.; Reis, A. and Silva, T.L., 2015. "New dual-stage pH control fed-batch cultivation strategy for the improvement of lipids and carotenoids production by the red yeast Rhodosporidium toruloides NCYC 921". *Bioresource Technology*, Vol. 189, p. 309-318.

Fábregas, J.; Otero, A.; Maseda, A. and Domínguez, A., 2001. "Two-stage cultures for production of astaxanthin from Haematococcus pluvialis". *Journal of Biotechnology*, Vol. 89, p. 65-71.

Frengova, G.; Simova E.; Pavlova, K.; Beshkova, D., 1994. "Formation of carotenoids by Rhodotorula glutinis in whey ultrafiltrate". *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 44, p. 888-894.

Hui, N.I.; Qi-He, C.; Hui, R.; Yuan-Fan, Y.; Li-Jun, L.I.; Guang-Bin, W.U.; Yang, H.U. and Guo-Qing, H.E., 2007. "Studies on optimization of nitrogen sources for astaxanhin production by Phaffia rhodozyma". *Journal of Zhejiang University Science B*, Vol. 8, p. 365-370.

Krinsky, N. I. and Johnson, E.J., 2005. "Carotenoid actions and their relation to health and disease". *Molecular Aspects of Medicine*, Vol. 26, p. 459-516.

Liu, Y.S. and Wu, J.Y., 2006. "Characterization of oxygen transfer conditions and their effects on Phaffia rhodozyma growth and carotenoid production in shake-flask cultures". *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 27, p. 331 – 335.

Loss, E.M.S., 2009. *Aproveitamento de resíduos da cadeia produtiva do milho para cultivo de cogumelos comestíveis*. Dissertação de Mestrado em Ciências dos Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas.

Lourenço, S.O., 2006. *Cultivo de microalgas marinhas – princípios e aplicações*. São Carlos: Editora RiMa.

Maadane, A.; Merghoub, N.; Ainane, T.; Arroussi, H.E.; Benhima, R.; Amzazi, S.; Bakri, Y. and Wahby, I., 2015. "Antioxidant activity of some Moroccan marine microalgae: Pufa profiles, carotenoids and phenolic content". *Journal of Biotechnology*, Vol. 215, p. 13-19.

Machado, W.R.C. and Burkert, J.F.M., 2014. "Produção de carotenoides microbianos pela levedura Sporidiobolus pararoseus utilizando coprodutos". *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Vol. 6, n. 2, p. 59-69.

Mata-Gómez, L.C.; Montañez, J.C.; Méndez-Zavala, A. and Aguilar, C.N., 2014. "Biotechnological production of carotenoids by yeasts: an overview". *Microbial Cell Factories*, Vol. 13, n. 12, p. 1-11.

Mcneil, B.; Harvey, L.M., 1990. *Fermentation – A practical approach*. Oxford University Press, Oxford.

Otero, A.; Domínguez, A.; Lamela, T.; García, D. and Fábregas, J., 1998, "Steady-states of semicontinuous cultures of a marine diatom: Effect of saturating nutrient concentrations". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 227, p. 23-34.

Saenge, C.; Cheirsilp, B.; Suksaroge, T.T. and Bourtoom, T., 2011. "Potential use of oleaginous red yeast Rhodotorula glutinis for the bioconversion of crude glycerol from biodiesel plant to lipids and carotenoids". *Process Biochemistry*, Vol. 46, p. 210–218.

Silva, M.C., 2004. *Alterações na biossíntese de carotenóides em leveduras induzidas por agentes químicos*. Tese de Doutorado em Ciência de Alimentos– Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas.

Song, J.; Li, D.; He, M.; Chen, J. and Liu, C., 2016. "Comparison of Carotenoid Composition in Immature and Mature Grains of Corn (Zea Mays L.) Varieties". *International Journal of Food Properties*, Vol.19, n. 2, p. 351-358.

Tatsch, P.T., 2008. *Produção de carotenóides em meio sintético por Sporidiobolus salmonicolor CBS 2636 em biorreator*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada (URI-Campus Erechim), Erechim.

Tsai, H.; Chuang, L. and Chen, C. N., 2016. "Production of long chain omega-3 fatty acids and carotenoids in tropical areas by a new heat-tolerant microalga Tetraselmis sp. DS3". *Food Chemistry*, Vol. 192, p. 682-690.

Urnau, L.; Colet, R.; Soares, V.F.; Franceschi, E.; Valduga, E. and Steffens, C., 2018. "Extraction of carotenoids from Xanthophyllomyces dendrorhous using ultrasound-assisted and chemical cell disruption methods". Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 96, p. 1377-1381.

Valduga, E.; Valerio, A.; Treichel, H.; Di Luccio, M. and Furigo Júnior,, 2008. "A. Study of the bio-production of carotenoids by Sporidiobolus salmonicolor (CBS 2636) using pre-treated agro-industrial substrates". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Vol. 83, p. 1267-1274.

Valduga, E.; Tatsch, P.O.; Vanzo, L.T.; Rauber, F.; Di Luccio M. and Treichel, H., 2009. "Assessment of hydrolysis of cheese whey and use of hydrolysate for bioproduction of carotenoids by Sporidiobolus salmonicolor CBS 2636", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 89, p. 1060 – 1065.

Valduga, E.; Ribeiro, A.H.R.; Cence, K.; Colet, R.; Tiggemann, L.; Zeni, J. and Toniazzo, G., 2014. "Carotenoids production from a newly isolated Sporidiobolus pararoseus strain using agroindustrial substrates". *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Vol. 3, p. 207-213.

Venil, C.K.; Zakaria, Z.A. and Ahmad, W.A., 2013. "Review: Bacterial pigments and their applications". *Process Biochemical*, Vol. 48, p. 1065–1079, 2013.

Veronezi, C.M. and Jorge, N., 2011, "Carotenoides em abóboras". *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, Vol. 29, n. 1, p. 9-20.

Vílchez, C.; Forján, E.; Cuaresma, M.; Bédmar, F.; Garbayo, I. and Vega, J.M., 2011. "Marine carotenoids: biological functions and commercial applications". *Marine Drugs*, Vol. 9, n. 3, p. 319-33.

Young, A.J. and Lowe, G.M., 2001. "Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids". *Archives Biochemistry and Biophysics*, Vol. 385, n.1, p. 20-27.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# SELEÇÃO DE FEIJÕES BIOFORTIFICADOS

**Ritieli Baptista Mambrin**
**Edivane Ferro**
**Nardiele Machado Flores**
**Renato Fortunati**
**Vanessa Battistela**
**Leandro Paludo**
**Rubens Meneguzzi**
**Lucas Vanz**
**Susana Klajn**
**Rose Grochot Gayeski**

**Centro de Ensino Superior Riograndense – Faculdade CESURG. Centro, Av. Julio Borella, 1968 - Vila Angela Borella, Marau - RS, 99150-000.**
ritimambrin@gmail.com , edivaneferro@hotmail.com , nardi.14@hotmail.com , renatofortunati76@gmail.com , vanebattis@hotmail.com , leandropaludo@hotmail.com , rubensmeneguzzi@gmail.com , lucas.vanz2012@gmail.com , s.klajn@yahoo.com.br , seduc.proferose@gmail.com

*Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade genética das linhagens de feijão quanto à produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de minerais em grãos. Para tanto, foram avaliadas 16 linhagens de feijão em duas épocas de cultivo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, seguindo os requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso. Os caracteres determinados foram: tempo de cozimento dos grãos, concentração de minerais e produtividade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, à análise de variância conjunta. Em relação aos caracteres com interação significativa, efetuou-se a comparação das médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. As linhagens de feijão apresentaram variabilidade genética para a produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de cálcio e de ferro em grãos.*
*Palavras chave: Phaseolus vulgaris L., variabilidade genética, minerais, época de cultivo.*

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as principais leguminosas cultivadas no mundo, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é a mais consumida, sendo um dos principais alimentos da dieta da população brasileira (Taluder *et al*., 2010). O feijão é produto de elevada importância nutricional, econômica e social e seu valor nutricional está associado com a sua qualidade protéica (Ribeiro *et al*., 2008), sendo o alimento a principal fonte de proteínas das populações de baixa renda, o que ocorre em diversos países da América Latina e da África Oriental e do Sul (Broughton *et al*., 2003), sobretudo por apresentar preço relativamente baixo quando comparado com outros alimentos de similar valor nutricional (Pereira, 1999). Além disso, é importante fonte de ferro, zinco e cobre (Mesquita *et al.*, 2007), que são minerais essenciais para a manutenção da atividade física, da capacidade de trabalho e contribuem para o perfeito funcionamento do sistema imunológico (Cunha; Cunha, 1998).

Apesar dos benefícios que a ingestão de feijão traz à saúde humana, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, desde a década de 70 houve redução no seu consumo em quase 50% (CONAB, 2012), pois, aos poucos, o feijão vem sendo substituído por outros produtos de rápido preparo. Portanto, para aumentar a probabilidade de aceitação de uma nova cultivar de feijão é importante que, além do valor nutritivo, seja também avaliado o tempo de cozimento. Isso porque, grãos que em poucos minutos de cozimento adquirem a maciez adequada para o consumo são preferidos, pois há uma diminuição no tempo de preparo da refeição e no gasto com energia (Rodrigues *et al*., 2005). Além disso, períodos prolongados de cozimento são desaconselháveis, por causarem alterações estruturais em nível celular, provocando a perda de nutrientes (Wassimi *et al.*, 1988), além de elevar o custo de preparo do alimento e alterar a qualidade sensorial do mesmo.

A qualidade nutricional e tecnológica do feijão é constituída pelo conteúdo protéico, balanço de aminoácidos, tempo de cozimento e capacidade de hidratação dos grãos (Dalla Corte *et al*., 2003; Lemos *et al*., 2004). Essas características são influenciadas por fatores genéticos, ambientais e pela interação genótipo x ambiente durante o desenvolvimento das

plantas e dos grãos (Ribeiro, 2011). Por isso, a identificação de germoplasma de feijão com qualidade nutricional e tecnológica de grãos é de relevante importância e precisa ser considerada pelos programas de melhoramento.

Variabilidade genética para o tempo de cozimento foi observada em feijão, com valores que variaram de 13 a 100 min (Dalla Corte *et al*., 2003; Rodrigues *et al*, 2004). Também, se observou variabilidade genética para a concentração de potássio, cálcio, ferro, zinco e cobre em germoplasma de feijão silvestre e de feijão cultivado em diferentes países (Mesquita *et al*., 2007; BLAIR et al., 2010; Pinheiro *et al*., 2010; Akond *et al*., 2011; Pereira *et al.,* 2011; Taluder *et al*., 2011). A identificação de variabilidade genética para características tecnológicas e nutricionais dos grãos de feijão possibilita o melhoramento genético para a redução do tempo de cozimento e o aumento da concentração de minerais, representando avanços tecnológicos para a cultura.

Em gerações segregantes foram registrados incrementos de 33,6% na concentração de cálcio (Jost *et al*., 2009), de 94,0% na concentração de ferro (Jost *et al*., 2009) e de 37,3% na concentração de zinco (Rosa *et al*., 2010) em grãos de feijão. Também, estimativas de herdabilidade superiores a 50% foram encontradas para a concentração dos minerais - cálcio e de ferro, em gerações segregantes (Jost *et al*., 2009) e, superiores a 60% para o tempo de cozimento (Belicuas *et al*., 2001). Partindo destas constatações, esperam-se facilidades para a seleção desses caracteres, uma vez que, provavelmente, os mesmos sejam controlados por poucos genes. Portanto, há possibilidade de se obter cultivares de feijão com melhor qualidade nutricional e tecnológica, que atendam as necessidades nutricionais e as atuais demandas do mercado consumidor, além de poderem ser utilizadas para minimizar os problemas de deficiências de minerais que afetam, aproximadamente, três billhões de pessoas no mundo (FAO, 2011).

Como a produtividade de grãos ainda é a característica mais importante para os programas de melhoramento de feijão, o aumento na concentração de minerais e a redução no tempo de cozimento devem estar associados à alta produtividade de grãos. Correlações positivas foram obtidas entre as concentrações de minerais, ferro e zinco (Nchimbi-Msolla, 2010), zinco e cobre (Pinheiro *et al*., 2010), fósforo e zinco (Cichy *et al*., 2009) e cobre e fósforo (Pinheiro *et al*., 2010). Já, a associação entre a produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de minerais nos grãos foi pouco explorada na seleção de linhagens de feijão.

A seleção combinada para produtividade de grãos, qualidade de cozimento e concentração de minerais é recente em feijão, sendo as pesquisas ainda incipientes. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética das linhagens de feijão quanto à produtividade de grãos, o tempo de cozimento e a concentração de minerais em grãos de feijão.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Centro de Ensino Superior Riograndense – Faculdade CESURG de Marau, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Para a realização dos experimentos, o solo foi preparado pelo sistema de plantio convencional e a adubação foi realizada conforme a interpretação da análise química do solo no primeiro cultivo (safra 2018/2019). Na base foram aplicados 250 kg $ha^{-1}$ da fórmula 5-30-20 (nitrogênio, fósforo e potássio - NPK) e em cobertura foram adicionados 20 kg $ha^{-1}$ de nitrogênio, como uréia (45% de nitrogênio), no estádio de crescimento de primeira folha trifoliolada (V3). No cultivo subsequente (safrinha 2019) foi realizada a adubação de manutenção, aplicando-se na base 190 kg ha-1 da fórmula 5-30-20 e em cobertura, 20 kg ha-1 de nitrogênio (uréia) aplicado no estádio de crescimento de primeira folha trifoliolada (V3). A semeadura foi realizada de maneira manual, em duas épocas de cultivo: safra (semeadura em 13 de outubro de 2018) e safrinha (semeadura em 16 de fevereiro de 2019).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, seguindo os requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU), para a inscrição de cultivares de feijão no Registro Nacional de Cultivares – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - RNC/MAPA (BRASIL, 2006). Cada parcela foi constituída por quatro linhas de 4,0 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m, e área útil de 4,0 m2. Os tratamentos consistiram da avaliação de 16 linhagens de feijão, sendo 14 linhagens comuns às duas épocas de cultivo e duas linhagens incluídas na safrinha de 2011 (GEN P5-4-3-1 e GEN Pr 14-2-3). Destas, 12 são linhagens avançadas desenvolvidas por diferentes obtentores: TB 02-24 e TB 02-07 (Embrapa Clima Temperado), SM 1107 e SM 1810 (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO), CHC 01175 e CHP 986620 (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI), LP 08-90 e LP 07-80 (Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR), BRS MG Realce e CNFP 10104 (Embrapa Arroz e Feijão), GEN P5-4-3-1 e GEN Pr 14-2-3 (Instituto Agronômico de Campinas – IAC ) e quatro linhagens comerciais (cultivares testemunhas): Guapo Brilhante, BRS Valente, Carioca e Pérola. Todas as linhagens avaliadas são do grupo gênico Mesoamericano, exceto a TB 02-24 e BRS MG Realce que são do grupo gênico Andino.

O tempo de cozimento dos grãos de feijão foi estimado de acordo com o procedimento descrito em Rodrigues et al. (2005), com auxílio de um cozedor de Mattson montado pela Embrapa Instrumentação. O aparelho possui 25 hastes de 90 g e 1,0 mm de diâmetro da ponta da haste. Para o desenvolvimento da técnica, foram separadas três amostras de 25 grãos, de cada linhagem. A cada 30 minutos, uma amostra aleatória foi colocada em maceração em 25 ml de água destilada, por oito horas, à temperatura ambiente (15 ºC ± 3 ºC). Após, os grãos foram levemente secos em papel toalha e posicionados sobre uma haste do cozedor e o aparelho foi colocado dentro de uma panela de alumínio, com capacidade para 7 litros, contendo 3 litros de água destilada em ebulição. A mesma era mantida aberta (sem tampa), em fogo médio e, à medida que ocorria o cozimento, o grão amolecia e a haste caia, perfurando o grão. O tempo médio de

queda das 13 primeiras hastes foi considerado como tempo de cozimento de cada amostra, como sugerido por Ribeiro *et al.* (2007).

Para a determinação da concentração de minerais, foram utilizadas amostras de 5 g de grãos das diferentes linhagens. Estas amostras foram moídas em micromoinho analítico de faca, marca Quimis, modelo Q298A21, fabricado no Brasil, até a obtenção de uma farinha de feijão cru com partículas inferiores a 1 mm. Os minerais foram quantificados em 0,5 g de farinha de feijão onde a mesma foi digerida com ácido perclórico e ácido nítrico concentrado (1/5, w/v) a 60 ºC por 12 horas, de acordo com a metodologia descrita por Ribeiro et al. (2012). As concentrações de potássio, cálcio, ferro, zinco e cobre foram determinadas por espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICPE). O equipamento usado é da marca Shimadzu Instrumentos Científicos, modelo ICPE-9000, fabricado no Brasil. As concentrações de potássio e de cálcio foram expressas em g kg-1 de matéria seca de amostra e ferro, zinco e cobre, em mg kg-1 de matéria seca de amostra.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância individual e, posteriormente, à análise de variância conjunta, no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições para a variável produtividade de grãos, três repetições para o tempo de cozimento e duas repetições para a concentração de minerais. A homogeneidade das variâncias residuais foi verificada pelo teste F máximo de Hartley (Cruz; Regazzi, 1997). Utilizou-se o teste F a 5% de probabilidade de erro para testar as hipóteses dos efeitos principais e da interação linhagem x ambiente (LxA). Em relação aos caracteres com interação significativa, efetuou-se a comparação das médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para efeito de generalização do comportamento das linhagens em diferentes ambientes, a avaliação das linhagens em duas épocas no mesmo local tem significado semelhante à avaliação das linhagens em dois locais na mesma época, o importante é que haja variação ambiental. No caso, a variação ambiental foi significativa (valor-p <0,05) para a produtividade de grãos e para as concentrações de potássio, de ferro, de zinco e de cobre nos grãos (Tabela 1). Interação linhagens x ambientes significativa, também, foi previamente observada para a produtividade de grãos (Perina *et al*., 2010; Ribeiro *et al*., 2008), para o tempo de cozimento (Rodrigues et al., 2005) e para as concentrações de potássio e de ferro nos grãos de feijão (Moraghan; GRAFTON, 2001). A concentração de cálcio e o índice foram significativos apenas para linhagens.

Tabela 1 – Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) da análise de variância conjunta dos dados de produtividade de grãos (produtividade, t ha-1), tempo de cozimento (cozimento, minutos: segundos), concentração de minerais nos grãos: potássio (g kg-1 de matéria seca – MS), cálcio (g kg-1 de MS), ferro (mg kg-1 de MS), zinco (mg kg-1 de MS) e cobre (g kg-1 de MS).

| Fonte de | Produtividade | | Cozimento | | Potássio | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| variação | GL | QM | GL | QM | GL | QM |
| Linhagem (L) | 15 | 0,70906* | 15 | 57154,9* | 15 | 6,26$^{ns}$ |
| Época (E) | 1 | 39,01998* | 1 | 13514,3$^{ns}$ | 1 | 83,67* |
| LxE | 13 | 0,27172* | 13 | 36901,3* | 13 | 8,80* |
| Bloco/E | 6 | 0,06079* | 4 | 27839,6* | 2 | 0,61$^{ns}$ |
| Erro | 84 | 0,07147 | 56 | 10784,0 | 28 | 3,68 |
| Média | | 1,959 | | 1016,5 | | 11,39 |
| CV% | | 13,6 | | 10,2 | | 16,8 |

| | | Quadrado Médio | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | GL | Cálcio | Ferro | Zinco | Cobre |
| Linhagem (L) | 15 | 0,11* | 925,7* | 27,3$^{ns}$ | 0,84$^{ns}$ |
| Época (E) | 1 | 0,05 $^{ns}$ | 3553,7* | 120,7* | 5,83* |
| LxE | 13 | 0,09$^{ns}$ | 1336,3* | 10,3$^{ns}$ | 0,79$^{ns}$ |
| Bloco/E | 2 | 0,01$^{ns}$ | 128,5$^{ns}$ | 6,6$^{ns}$ | 0,43$^{ns}$ |
| Erro | 28 | 0,046 | 312,1 | 20,2 | 0,76 |
| Média | | 1,55 | 88,78 | 28,65 | 3,68 |
| CV% | | 13,8 | 19,9 | 15,7 | 23,7 |

* Significativo pelo teste F (valor-p <0,05); ns = não significativo; CV%: coeficiente de variação.

No cultivo de safra 2010, sete linhagens (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM 1810, SM 1107, CHP 986620 e LP 07-80) superaram as cultivares comerciais em produtividade de grãos (TAB. 3). No cultivo de safrinha 2011, por sua vez, nove linhagens (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM 1810, SM 1107, LP 07-80, TB 02-07, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-2-3) apresentaram produtividade de grãos similar as cultivares comerciais de maior produtividade de grãos (Guapo Brilhante e Carioca).

Para a inscrição de uma nova cultivar de feijão no Registro Nacional de Cultivares – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC/MAPA), não há a necessidade de comprovar que a produtividade de grãos das linhagens avançadas foi superior ao valor observado nas cultivares comerciais avaliadas no ensaio de valor de cultivo e uso (Brasil, 2006). No entanto, o coeficiente de variação deverá ser, no máximo, de 25%. No presente estudo, os coeficientes de variação obtidos para a produtividade de grãos foram de 12,0% (safra 2018) e de 15,9% (safrinha 2019), atendendo o padrão de precisão experimental requerido pelo RNC/MAPA. Todavia, a nova linhagem deverá ter pelo menos uma característica que a diferencie das demais cultivares comerciais para justificar a sua inscrição no RNC/MAPA. Os caracteres que conferem qualidade de cozimento e nutricional ao feijão representam vantagens mercadológicas para os produtores, por isso alguns programas de melhoramento têm investido na seleção de linhagens com reduzido tempo de cozimento e alta concentração de minerais nos grãos.

No cultivo de safra 2018, sete linhagens (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM 1810, SM 1107, CHP 986620 e LP 07-80) superaram as cultivares comerciais em produtividade de grãos (Tabela 2). No cultivo de safrinha 2019, por sua vez, nove linhagens (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM 1810, SM 1107, LP 07-80, TB 02-07, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-2-3) apresentaram produtividade de grãos similar as cultivares comerciais de maior produtividade de grãos (Guapo Brilhante e Carioca).

Para a inscrição de uma nova cultivar de feijão no Registro Nacional de Cultivares – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC/MAPA), não há a necessidade de comprovar que a produtividade de grãos das linhagens avançadas foi superior ao valor observado nas cultivares comerciais avaliadas no ensaio de valor de cultivo e uso (Brasil, 2006). No entanto, o coeficiente de variação deverá ser, no máximo, de 25%. No presente estudo, os coeficientes de variação obtidos para a produtividade de grãos foram de 12,0% (safra 2018) e de 15,9% (safrinha 2019), atendendo o padrão de precisão experimental requerido pelo RNC/MAPA. Todavia, a nova linhagem deverá ter pelo menos uma característica que a diferencie das demais cultivares comerciais para justificar a sua inscrição no RNC/MAPA. Os caracteres que conferem qualidade de cozimento e nutricional ao feijão representam vantagens mercadológicas para os produtores, por isso alguns programas de melhoramento têm investido na seleção de linhagens com reduzido tempo de cozimento e alta concentração de minerais nos grãos.

O tempo de cozimento dos grãos variou de 12 min e 39 s (LP 07-80, safrinha 2011) a 23 min e 23 s (CNFP 10104, safra 2018) (Tabela 2). De acordo com Rodrigues *et al.* (2005), as cultivares Pérola e TPS Nobre, também, apresentaram cozimento rápido (15 min e 24 s a 20 min e 37 s), quando foram obtidas em cinco diferentes épocas de cultivo no Estado do Rio Grande do Sul. No presente estudo, todas as linhagens de feijão apresentaram reduzido tempo de cozimento, portanto atendem a demanda dos consumidores, que em função das atividades fora do lar e do pouco tempo disponível para cozinhar, preferem os grãos de feijão de rápido preparo. São desejáveis cultivares de feijão com tempo de cozimento menor do que 30 minutos, pois significa economia de energia e de capital (Rodrigues *et al*., 2005).

A concentração de potássio variou de 9,0 (BRS MG Realce) a 12,5 g kg-1 de matéria seca - MS (TB 02-07) e, embora tenha sido constatada diferença significativa pelo teste F para linhagens, a aplicação do teste Scott-Knott não resultou em estratificação entre os tratamentos, para o mesmo nível de significância no cultivo de safra 2018 (Tabela 2). No cultivo de safrinha 2019, dois grupos foram formados para a concentração de potássio nos grãos de feijão e, o teste os classificou em alto (12,3 a 15,0 g kg-1 de MS) e baixo (9,0 a 9,7 g kg-1 de MS). A identificação de linhagens de feijão com concentração elevada de potássio nos grãos (CNFP 10104, CHC 01175, LP 08-90, SM 1810, SM 1107, Carioca, BRS Valente, Pérola, BRS MG Realce, Gen P5-4-3-1 e Gen Pr14-2-3) é de grande importância para a formulação de dietas para pessoas que praticam atividade física intensa e, por isso, requerem concentrações mais elevadas de potássio na alimentação (Lindinger, 1995). Já, as linhagens de feijão com baixa concentração de potássio nos grãos poderiam ser utilizadas em dietas formuladas com restrição deste mineral, que são prescritas para pacientes com comprometimento renal (Franco, 2003), onde o controle adequado de sua ingestão é essencial para a manutenção de teores plasmáticos (Cupari *et al.*, 2004).

A concentração de cálcio variou de 1,3 (CHP 986620 e LP 07-80) a 1,9 g kg-1 de MS (Gen Pr5-4-3-1), mas a aplicação do teste Scott-Knott não possibilitou a estratificação entre as linhagens, no mesmo nível de significância. Valores de cálcio similares foram descritos previamente em gerações precoces de feijão (Jost *et al*., 2009) e em grãos de 29 linhagens avançadas de feijão, de diferentes cores de tegumento, cultivadas no Brasil, Estados Unidos e na Colômbia (Akond *et al*., 2011). A ingestão inadequada deste mineral durante o período de crescimento pode resultar em deficiência no futuro, o que muitas vezes pode ocasionar no desenvolvimento de osteoporose que é um distúrbio osteometabólico caracterizado pela diminuição da densidade mineral óssea, levando a um aumento da fragilidade esquelética e do risco de fraturas (Tosteson *et al.*, 2008). Apesar de não ser o único tratamento, os alimentos ricos em cálcio são ótimos auxiliares na prevenção e no combate à osteoporose.

A concentração de ferro nos grãos apresentou ampla variação entre as linhagens nas duas épocas de cultivo (Tabela 2). Valores entre 67,3 (CNFP 10104) a 179,5 mg kg-1 de MS (LP 07-80) foram registrados no cultivo de safra 2018 e entre

64,3 (SM 1810) a 118,0 mg kg-1 de MS (BRS MG Realce) foram verificados no cultivo de safrinha 2019. A concentração de ferro em grãos de feijão é afetada pela interação linhagens x ambientes de cultivo como foi observado no presente estudo e por Araújo *et al*. (2003).

Tabela 2 - Médias da produtividade de grãos (produtividade, kg ha-1), do tempo de cozimento dos grãos (cozimento, minutos: segundos) e da concentração de potássio (g kg-1 de matéria seca - MS), cálcio (g kg-1 de MS) e ferro (mg kg-1 de MS) nos grãos de feijão de linhagens avançadas.

| Linhagens | Produtividade | | Cozimento | | Potássio | | Cálcio | Ferro | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Safra 1 | Safra 2 | Safra 1 | Safra 2 | Safra 1 | Safra 2 | Média | Safra 1 | Safra 2 |
| CNFP 10104 | 3102 a* | 1679 a | 23:23 a | 17:58 a | 9,1 a | 14,7 a | 1,5 a | 67,3 c | 76,1 b |
| CHC 01175 | 3066 a | 1466 a | 17:50 b | 16:43 b | 9,3 a | 14,1 a | 1,6 a | 127,0 b | 84,6 b |
| LP 08-90 | 3060 a | 1603 a | 16:03 b | 16:05 b | 11,7 a | 14,9 a | 1,4 a | 80,9 c | 82,9 b |
| SM 1810 | 2913 a | 1394 a | 15:24 b | 14:15 b | 9,1 a | 12,8 a | 1,6 a | 132,5 b | 64,3 b |
| SM 1107 | 2798 a | 1762 a | 17:30 b | 15:21 b | 10,6 a | 15,0 a | 1,7 a | 90,4 c | 76,7 b |
| CHP 986620 | 2782 a | 1308 b | 19:16 b | 16:11 b | 9,1 a | 9,5 b | 1,3 a | 67,5 c | 78,6 b |
| LP 07-80 | 2742 a | 1611 a | 14:00 b | 12:39 b | 9,3 a | 9,3 b | 1,3 a | 179,5 a | 77,1 b |
| Guapo Brilhante | 2608 b | 1445 a | 16:19 b | 19:39 a | 9,5 a | 9,4 b | 1,6 a | 86,3 c | 78,4 b |
| TB 02-07 | 2551 b | 1420 a | 18:11 b | 16:39 b | 12,5 a | 9,7 b | 1,7 a | 73,3 c | 103,1 a |
| Carioca | 2438 b | 1511 a | 15:42 b | 15:58 b | 9,2 a | 12,4 a | 1,4 a | 98,0 c | 74,2 b |
| BRS Valente | 2360 c | 1009 b | 16:36 b | 17:10 b | 9,4 a | 14,9 a | 1,8 a | 75,1 c | 64,8 b |
| Pérola | 2158 c | 1096 b | 16:52 b | 17:43 a | 11,4 a | 12,3 a | 1,7 a | 86,9 c | 72,3 b |
| BRS MG Realce | 1934 c | 1319 b | 17:15 b | 19:27 a | 9,0 a | 13,5 a | 1,5 a | 86,7 c | 118,0 a |
| TB-02-24 | 1454 d | 1174 b | 15:56 b | 20:26 a | 12,4 a | 9,0 b | 1,6 a | 106,5 c | 72,4 b |
| Gen P5-4-3-1 | - | 1442 a | - | 16:50 b | - | 13,4 a | 1,9 a | - | 78,5 b |
| Gen Pr 14-2-3 | - | 1577 a | - | 15:57 b | - | 14,8 a | 1,5 a | - | 102,9 a |
| Média | 2569 | 1426 | 17:09 | 16:45 | 10,1 | 12,5 | 1,5 | 97,0 | 81,6 |
| CV%[1] | 12,0 | 15,9 | 10,1 | 11,3 | 16,1 | 16,4 | 13,8 | 22,3 | 15,1 |

* Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (valor-p =0,05). 1CV%: coeficiente de variação.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akond, A. S. M. *et al*. Minerals (Zn, Fe, Ca and Mg) and antinutrient (phytic acid) constituents in common bean. *American Journal of Food Technology*, v. 6, n. 12, p. 243- 251, 2011.

Araújo, R. *et al*. Genotype x environment interation effects on the iron content of common bean grains. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 3, n. 04, p. 269-274, 2003

Belicuas, P. R.; Ramalho, M. A. P.; Abreu, A. F. B. Controle genético da capacidade de cozimento dos grãos de feijão. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 1., 2001, Goiânia, GO. Anais.

Blair, M. W. et al. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Molecular Breeding*, v. 2, n. 03, p. 197-207, 2009.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Requisitos mínimos para a determinação do Valor de Cultivo e Uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a inscrição no Registro Nacional de Cultivares – RCN. Anexo IV. Brasília: MAPA, 2006. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2012.

Broughton, W. J. et al. Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. *Plant Soil*, v. 25, n. 2, p. 55-128, 2003.

Carvalho, f. i. f.; lorencetti, C.; Benin, G. Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal. Pelotas: Ed. Universitária da ufpel, 2004, 142 p.

Cichy, K. A. et al. QTL analysis of seed iron, zinc, and phosphorus levels in a Andean bean population. *Crop Science*, v. 4, n. 09, p. 1742-1750, 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento. Brasília: Conab, 2011. 47 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 jul. 2012.

Cunha, D. F.; Cunha, S. F. C. Microminerais. In: OLIVEIRA, J. E.; MARCHINI, J. S. *Ciências nutricionais*. Sarvier, São Paulo, 1998, p. 141-165.

Cruz, C. D.; Carneiro, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas. Editora UFV, Viçosa, 2004, 585p.

Cruz, C. D. Programa Genes: estatística experimental e matrizes. Editora UFV, Viçosa, 2006, 285p.

Cuppari, L. *et al.* Vegetables for low potassium diet. *Nutrire: Revista Sociedade Brasileira de Alimentos e Nutrição*, v. 28, n. 03, p. 1-7, 2004.

Dalla Corte, A. et al. Enviroment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 3, n. 03, p. 193-202, 2003.

FAO - Undernourishment around the world: counting the hungry: latest estimates. Disponível em: <http://www.fao.org/documents>. Accesso em: 26 agosto 2012.

Franco, G. Tabela de composição química dos alimentos. 9. ed. Rio de Janeiro; Atheneu, 2003, 230p.

Jost, E. *et al*. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. *Ciência Rural*, v. 3, n. 09, p. 31-37, 2009.

Lemos, L. B. *et al.,* Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 04, p. 319-326, 2004.

Lindinger, M. I. Potassium regulation during exercise and recovery in humans: implications for skeletal and cardiac muscle. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, v. 2, n. 07, p. 1011-1022, 1995.

Mendes, F. F.; Ramalho, M. A. P.; Abreu, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 4, n. 04, p. 312-1318, 2009.

Mesquita, F. R. *et al.* Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 3, n. 1, p. 1114-1121, 2007.

Moraghan, J. T.; Grafton, K. Genetic diversity and mineral composition of common bean seed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 8, n. 01, p. 404-408, 2001.

Moreno, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

Pereira, T. *et al*. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 3, n. 03, p. 477-485, 2011.

Perina, E. F. *et al*. Avaliação da estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) baseada na análise multivariada da "performance" genotípica. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 3, n. 04, p. 398-406, 2010.

Pinheiro, C. *et al*. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 2, n. 03, p. 319-325, 2010.

Ribeiro, N. D. *et al*. Mineral concentrations in the embryo and seed coat of common bean cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 26, n. 1-2, p. 89-95, 2012.

Rodrigues, J. A. *et al*. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. *Ciência Rural*, v.35, n. 01, p. 209-214, 2005.

Rosa *et al*. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. *Euphytica*, v. 17, n. 05, p. 207-213, 2010.

Taluder, Z. I. *et al*. Genetic diversity and selection of genotypes to enhance Zn and Fe content in common bean. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 9, n. 04, p. 49-60, 2010.

Tosteson, A. N. *et al*. Cost-effective osteoporosis treatment thresholds: the United States perspective. *Osteoporos*, v. 19, n. 04, p. 437-47, 2008.

Tryphone, G. M.; Misolla, S. Diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in iron and zinc contents under screenhouse conditions. *African Jounal of Agricultural Research*, v. 5, n. 01, p. 738-747, 2010.

Vilarinho, A. A. *et al*. Eficiência da seleção de progênies S1 e S2 de milho-pipoca, visando à produção de linhagens. *Bragantia*, v. 62, n. 01, p. 9-17, 2003.

Wassimi, N. N.; Hosfield, G. L.; Uebersax, M. A. Combining ability of tannin content and protein characteristics of raw and cooked dry beans. *Crop Science*, v. 2, n. 08, p. 452-458, 1988.

Welch, R. M.; House, W. A.; Beebe, S. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 4, n. 08, p. 3576-3580, 2011.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# IMOBILIZAÇÃO DE *Zymomonas mobilis* E COMPLEXO ENZIMÁTICO GLICOSE-FRUTOSE OXIDORREDUTASE/GLUCONO-δ-LACTONASE POR CONTATO EM ESPUMA DE POLIURETANO FLEXÍVEL

**Roberta Cristina de Souza**
**Leonardo Meirelles da Silva**
**Kauane de Oliveira**
**Jamile Zeni**
**Eunice Valduga**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim-RS, Brasil. CEP 99709-910
robertacristina89@hotmail.com
leonardomeirelesdasilva@gmail.com
kau.deoliveira12@gmail.com
jamilezeni@uricer.edu.br
veunice@uricer.edu.br

**Eloane Malvessi**
Universidade de Caxias do Sul. Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Caxias do Sul-RS, Brasil. CEP 95070-560
emalvess@ucs.br

***Resumo:*** *O complexo enzimático glicose-frutose oxidorredutase (GFOR) e glucono-δ-lactonase (GL) de Zymomonas mobilis (Z. mobilis) apresenta grande importância na bioprodução de ácido aldônicos, os quais possuem diversas aplicações industriais. E para este fim o preparo do biocatalisador recebe destaque, através da imobilização celular. O objetivo deste estudo foi imobilizar Z. mobilis contendo GFOR/GL em espuma de poliuretano flexível pela técnica de imobilização por contato, avaliando a influência do uso combinado de imobilização com alginato de cálcio em baixas concentrações. A bactéria e seu complexo enzimático, após produzido, foi imobilizado por contato de 12 h em reator, durante a produção de biomassa e de enzimas, em espumas de poliuretano previamente formadas e fracionadas em três diferente tamanhos (cubos 5 mm e espumas de 2 e 1 mm). Um adicional tratamento com diferentes concentrações de alginato de cálcio no imobilizado foi também avaliado e a atividade enzimática determinada em cada amostra em dois ciclos contínuos. A atividade enzimática máxima foi de 1,95* $U_{inicial}$ $g_{célula_seca}^{-1}$*. E embora, o método tenha resultado em baixa atividade enzimática, o uso combinado de imobilização aumentou a estabilidade operacional nas três dimensões avaliadas. Desta forma, esse estudo apresentou uma alternativa de imobilização com método combinado, servindo como base para outras pesquisas na área.*

***Palavras chave:*** *Zymomonas mobilis, atividade enzimática, imobilização, poliuretano.*

## 1. INTRODUÇÃO

A *Zymomonas mobilis* (*Z. mobilis*) é uma bactéria Gram-negativa, não patogênica para seres humanos e encontrada no meio ambiente, associada a plantas com alto teor de açúcares nas seivas (Wanick *et al.*, 1970; Lima *et al.*, 1972; Swings e De Ley, 1977; Madigan *et al.*, 2010). Este micro-organismo é quimiorganotrófico, utilizando como fontes de carbono glicose, frutose e sacarose, as quais são metabolizadas, dentre outras reações, pela via de Entner-Doudoroff (Gibbs e de Moss, 1954; Swings e De Ley, 1977; Viikari, 1984; Doelle *et al.*, 1993).

No periplasma celular da *Z. mobilis* encontra-se o complexo enzimático glicose-frutose oxidorredutase (GFOR) e glucono-δ-lactonase (GL), no qual nenhum cofator ou enzima adicional é necessário para a manutenção do sistema e consequente produção dos produtos de interesse (Zachariou e Scopes, 1986; Hardman e Scopes,1988), recebendo destaque frente as demais enzimas oxidases presentes em outros micro-organismos. É relatado também uma decrescente preferência da enzima GFOR pelos seguintes substratos glicose, maltose, galactose e lactose (Malvessi *et al.*,2013).

Este complexo enzimático catalisa a oxidação de aldoses, como glicose, maltose e lactose, na presença de frutose, para a formação de ácidos aldônicos e sorbitol. Os ácidos aldônicos, como glucônico, lactobiônico e maltobiônico, assim denominados por serem um ácido de açúcar obtido pela oxidação do grupo aldeído de uma aldose, apresentam

propriedades interessantes para a aplicação em distintas áreas, como alimentos, farmacêutica, biomédica, química e têxtil (Yuen, 1974; Miyake e Sato; 1975; Gerling, 1998; Kim e Kim, 2002; Koka *et al.*, 2005; Nielsen, 2009; Baldwin *et al.*, 2009; Green e Briden, 2009; Nielsen e Hoeier, 2009; Nielsen, 2010; Oe e Kimura, 2011; Walter e Begli, 2011; Faergemand *et al.*, 2012; Nordkvist *et al.*, 2012; Alonso *et al.*, 2013).

As condições de processo, como temperatura, pH, agitação, modo de operação, preparo do biocatalisador e substratos utilizados devem ser avaliados objetivando a otimização do processo, a ampliação de escala e futuras aplicações de produção industrial. Nesta área de estudo, o preparo do biocatalisador (micro-organismo e enzimas) recebe destaque, devido as possibilidades de ampliação de aplicação, através da imobilização celular, visando maior estabilidade, facilidade de separação do meio e possibilidade de reutilização (Lima *et al.*, 2013).

Alguns suportes são relatados na literatura, com destaque para a imobilização com alginato de cálcio (Chun e Rogers, 1988; Bertasso *et al.*, 1996; Malvessi *et al.*, 2010; Folle *et al.*, 2018), κ-carragena (Rehr *et al.*, 1991; Jang *et al.*, 1996), microporos de membrana de fibra oca (Ferraz *et al.*, 2000; Mukhopadhyay *et al.*, 2005) e bucha vegetal (Vignoli *et al.*, 2006). O estudo da imobilização de *Z. mobilis* ou outros micro-organismos em espuma de poliuretano para a produção de ácidos aldônicos é muito limitado (Vassilev *et al.*,1993; Koehntopp *et al.*, 1996; Mukhopadhyay *et al.*, 2005).

A espuma de poliuretano tem sido utilizada na biotecnologia para imobilização de enzimas e micro-organismos para diversas aplicações, devido a algumas características como baixo custo, não toxicidades, versatilidade, facilidade de preparo, durabilidade, bioestabilidade, poder de sorção, porosidade e controle de poros durante a síntese (de Ory *et al.*, 2006; Guncheva *et al.*, 2011; Grover *et al.*, 2016).

O objetivo deste estudo foi imobilizar *Z. mobilis* contendo o complexo enzimático periplasmático glicose-frutose oxidorredutase/glucono-δ-lactonase em espuma de poliuretano flexível pela técnica de imobilização por contato, avaliando a influência do uso combinado de imobilização com alginato de cálcio em baixas concentrações.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Meios e condições de ativação, preparo de inóculo e cultivo da *Z. mobilis*/complexo enzimático

Para a produção de biomassa de *Z. mobilis* e o complexo enzimático periplasmático GFOR/GL três etapas foram necessárias: ativação, preparo de inóculo e cultivo para produção de biomassa e enzimas em biorreator, e foram realizados conforme descrito por Malvessi *et al.*, 2006, com modificações.

O meio de cultura líquido para a ativação, preparo de inóculo e cultivo teve a seguinte composição (g $L^{-1}$): glicose, 20 (ativação), 100 (inóculo), 150 (produção de biomassa e enzimas); sulfato de amônio, 2,0; sulfato de magnésio heptahidratado, 1,0; fosfato de potássio monobásico, 3,5; sulfato de ferro heptahidratado, 0,01; extrato de levedura bruto (Prodex Lac®), 7,5. Para preparo de inóculo, 5 g $L^{-1}$ de carbonato de cálcio foi adicionado ao meio para controle de pH. As soluções de glicose e carbonato de cálcio ($CaCO_3$) foram separadamente esterilizadas e adicionadas ao meio antes da inoculação. A esterilização dos nutrientes e soluções de glicose foram realizadas em autoclave a 1 atm por 15 min (Malvessi *et al.*, 2006).

A ativação das culturas foi realizada com a adição de 2 mL da suspensão bacteriana em estoque a tubos com 18 mL de meio de ativação (10% de suspenção bacteriana), incubados a 30 °C em estufa (Biomatic, Brasil), por 12 h.

O preparo de inóculo foi realizada em frasco de Duran de 500 mL, contendo 315 mL de meio de cultura e 90 mL de solução de glicose, ambos com massas de substratos e nutrientes necessárias para 450 mL, e 45 mL da cultura previamente ativada, sendo mantido em anaerobiose pela adição de nitrogênio gasoso por 30 min, para posteriormente serem incubados sob agitação orbital de 200 rpm em shaker Excella E25R (New Brunswick Scientific Co., INC, EUA), a 30 °C, por aproximadamente 10 h, O frasco foi dotado de uma tampa com filtro acoplado, com o intuito de proporcionar a injeção inicial de nitrogênio gasoso e, posteriormente, para a liberação de dióxido de carbono do metabolismo fermentativo.

O cultivo para produção de biomassa e enzimas foi realizado em batelada em reator encamisado de bancada (B. Braun Biotech International Biostat® B, Holanda), com volume total de 2 L e volume de trabalho de 1,5 L, agitação mecânica com frequência dos impelidores de 450 rpm e a 30 °C, mantidos com auxílio de banho ultratermostato (Nova Ética, Brasil). O pH foi mantido a 5,4 pela adição de hidróxido de sódio (NaOH) 5 M, com auxílio de um controlador de pH (DosaTronic pH 2900, Provitec, Brasil) acoplado a uma bomba peristáltica (DosaMini 100, Provitec, Brasil). O meio de cultivo foi inoculado com o volume necessário para obter-se uma suspensão celular de 20 unidades de absorbância a 560 nm. E a anaerobiose foi mantida com adição de nitrogênio gasoso ao reator, nos primeiros 45 min de cultivo. Para a obtenção final da biomassa e enzimas, o meio fermentado foi recolhido e centrifugado (Centrifuge MPW-351R, MPW® Med. Intruments, Polônia), por 10 minutos a 6000 rpm, sendo realizado avaliação de peso seco, para obter-se as concentrações de trabalhos (g $L^{-1}$) da biomassa.

A biomassa passou por ensaios de atividade enzimática frente a glicose e frutose para confirmar a eficácia da produção do complexo enzimático (GFOR/GL) da biomassa no cultivo em biorreator.

### 2.2 Imobilização da biomassa de *Z. mobilis* e complexo enzimático em espuma de poliuretano flexível

A imobilização do micro-organismo e seu complexo enzimática em espuma de poliuretano flexível foi realizado por contato, sendo investigado a influência de espumas de diferentes tamanhos e de um tratamento nas mesmas, posteriormente a imobilização, com alginato de cálcio em diferentes concentrações.

Para isto, 10 g de espumas de poliuretano flexível previamente formadas, conforme fabricante (10:3, massa reagente A:massa reagente B), adquiridas comercialmente (Dim Clay, Brasil), foram fracionadas em três tamanhos (cubos 5 mm de lado, espumas com tamanho selecionado em peneira de mesh 9 (2 mm) e espumas com tamanho selecionado em peneira em mesh 16 (1 mm)), lavadas previamente em água destilada, durante 15 minutos, sob agitação magnética e secadas com papel filtro. Os reagentes denominados A e B apresentam em sua composição poliol e isocianato, respectivamente.

Após esta etapa inicial de obtenção das espumas, as mesmas foram adicionadas no biorreator durante produção de biomassa e enzimas para imobilização por contato, durante 12 h. Após final do cultivo, as espumas foram removidas do meio fermentativo com auxílio de peneira doméstica e deixadas sob repouso durante 30 min para gotejamento do excesso de líquido e foram lavadas com água destilada sob agitação magnética, durante 1 min para a remoção de células não ligadas. Posteriormente, as espumas foram tratadas com glutaraldeído 0,5% (m/v), visando inibir o metabolismo das células, sem afetar a atividade enzimática (Folle *et al.*, 2018), com banho do suporte imobilizado, em agitação magnética por 15 min, seguida de duas lavagens em água destilada, sob agitação magnética, por 15 minutos para remoção do glutaraldeído e finalizadas, após remoção do excesso de água, com a secagem em capela (Quimis 0216-21, Brasil) com fluxo de ar ligado e em contato com papel filtro (JProlab, Brasil), durante 24 h. As espumas foram mantidas sob refrigeração até o momento do uso.

No método de imobilização por contato também foi avaliado, após remoção do suporte do biorreator e repouso, sem a lavagem com água destilada, a adição de alginato de sódio (0,25; 0,5 e 1%), por 2 min, seguido de banho em cloreto de cálcio (0,05; 0,1 e 0,2 M) por 30 min, conforme Devi e Sridhar (2000), com modificações, visando uma maior imobilização por aprisionamento no alginato de cálcio formado na espuma.

A determinação da massa de célula imobilizada por contato foi determinada por gravimetria. Para isto, uma amostra de espumas, previamente pesadas, após processo de imobilização por contato em reator foram adicionadas em estufa a 85 °C por 24 h, sendo a quantidade de célula determinada pela diferença de massa.

As formulações que foram avaliadas nos testes preliminares de imobilização por contato são apresentadas na Tab. 1

Tabela 1. Imobilização de *Z. mobilis* e complexo enzimático em espuma de poliuretano flexível por contato.

| Teste | Espuma | Alginato de sódio (%) | Cloreto de cálcio (M) |
|---|---|---|---|
| 1 | Cubos (5 mm) | 0,00 | 0,00 |
| 2 | | 0,25 | 0,05 |
| 3 | | 0,50 | 0,10 |
| 4 | | 1,00 | 0,20 |
| 5 | Mesh 9 (2 mm) | 0,00 | 0,00 |
| 6 | | 0,25 | 0,05 |
| 7 | | 0,50 | 0,10 |
| 8 | | 1,00 | 0,20 |
| 9 | Mesh 16 (1 mm) | 0,00 | 0,00 |
| 10 | | 0,25 | 0,05 |
| 11 | | 0,50 | 0,10 |
| 12 | | 1,00 | 0,20 |

### 2.3 Determinação da concentração celular

A concentração celular do inóculo foi estimada, em duplicata, por método indireto por densidade óptica a 560 nm, conforme Carra (2012). Para isto, 1 mL da amostra de inóculo foi adicionada a 0,2 mL ácido clorídrico (HCl) 2 M, visando a solubilização do $CaCO_3$ presente no meio, e posteriormente diluída em 8,8 mL de água destilada, obtendo-se a diluição de 10%. Após adicional diluição, com adição de 1 mL desta diluição em 5 mL de água destilada, foi realizada a leitura de densidade óptica em espectrofotômetro (UV-1600, Pro-Análise, Brasil). As medidas de absorbância foram realizadas em duplicata.

No cultivo em biorreator, a quantificação foi realizada por gravimetria e o peso seco celular determinando em g $L^{-1}$, conforme Carra (2012), com modificações. Neste método, 3 mL de meio fermentativo (triplicata) foram centrifugados (Modelo 206 BL, Excelsa® II, Brasil), a 3500 rpm, por 10 minutos. O sobrenadante foi descartado e ao precipitado de massa celular foi adicionada 3 mL de água destilada e centrifugada novamente nas mesmas condições. Após descarte do novo sobrenadante, a massa celular foi ressuspendida em água destilada e o conteúdo final transferido para cadinhos previamente pesados e mantido em estufa (Modelo EL – 1.3, Odontobrás Ind. E Com. Equip. Med. Odont. Ltda, Brasil),

a 90-95 °C, por 24 h. Posteriormente, os cadinhos foram mantidos em dessecador, à temperatura ambiente, por 20 min para resfriamento e determinada a massa celular em balança analítica (Ay220, Shimadzu do Brasil Comércio Ltda, Brasil). A concentração celular foi determinada pela razão entre massa seca de células (g) pelo volume de meio utilizado nesta análise (mL) e convertida para g $L^{-1}$.

### 2.4 Determinação da atividade enzimática

Os ensaios de atividade enzimática do complexo enzimático GFOR/GL foram realizados no micro-organismo livre e imobilizado, conforme metodologia proposta por Malvessi *et al.* (2006), com modificações.

A determinação da atividade enzimática foi realizada com solução equimolar de glicose (0,7 M) e frutose (0,7 M) e 4 g $L^{-1}$ de células de *Z. mobilis* livres. Os testes foram realizados em reator encamisado com 500 mL de volume total e 200 mL de volume de trabalho, com temperatura controlada a 39 °C, sob agitação magnética, por 1 h. O pH de 6,4 foi mantido com solução NaOH 1 M (livre) e 0,1 M (imobilizada) contida numa bureta, com auxílio de um controlador de pH (DosaTronic pH 2900, Provitec, Brasil) acoplado a uma bomba peristáltica (DosaMini 100, Provitec, Brasil).

A unidade de atividade enzimática foi definida como a quantidade de ácido glucônico, em mmol, formado por hora e por grama de célula seca contendo o complexo enzimático GFOR/GL (mmol $h^{-1}$ $g^{-1}$ = U $g^{-1}$) e estes valores estimados pelo coeficiente angular da reta obtida pela relação entre o tempo e o volume consumido de base, sendo este multiplicado pela concentração de NaOH utilizado para neutralizar o ácido formado e controlar o pH em 6,4.

O reuso foi realizado, após remoção do imobilizado do meio reacional, adicionando-o ao novo meio contendo glicose e frutose para nova medição da atividade enzimática de 1 h, frente a glicose e frutose 0,7 M e nas mesmas condições operacionais dos ensaios de atividade enzimática inicial (39 °C, pH 6,4).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das espumas imobilizadas com *Z. mobilis* e complexo enzimático por contato estão apresentados a seguir. Na Fig. 1 é possível observar as três dimensões avaliadas antes da imobilização e após a imobilização por 12 h de contato em reator, respectivamente, observando neste um sutil escurecimento da espuma.

Figura 1. (a) Tamanho das espumas padrão utilizadas para imobilização por contato. (b) Espumas imobilizada com *Z. mobilis* e complexo enzimático por contato.




Neste método de imobilização incorporou-se por contato uma quantidade celular entre 0,02; 0,05 e 0,09 $g_{célula_seca}$ $g_{suporte}^{-1}$, para imobilizados de 1, 3 e 5 mm, respectivamente. As atividades enzimáticas de todos os testes avaliados e a atividade residual após um reuso do imobilizado estão apresentadas na Tab. 2.

Os valores encontrados foram inferiores ao observado pelo complexo enzimático GFOR/GL da *Z. mobilis* livre, a qual neste trabalho foi de aproximadamente 30 U $g^{-1}$, todavia há a possibilidade de reuso do imobilizado, destacando o seu uso em comparação ao micro-organismo livre. O valor de atividade enzimática livre foi semelhante aos encontrados na literatura especializada (Malvessi *et al.*, 2010; Malvessi *et al.*, 2013; Folle *et al.*, 2018).

Tabela 2. Atividade enzimática e reuso de espumas imobilizadas com *Z. mobilis* e complexo enzimático por contato.

| Teste | Espuma | $U_{inicial}$ $g^{-1}$ | $U_{reuso_1}$ $g^{-1}$ | Residual (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Cubos (5 mm) | 0,16 | 0,06 | 36,38% |
| 2 | | 0,07 | 0,05 | 67,27% |
| 3 | | 0,24 | 0,17 | 72,86% |
| 4 | | 0,00 | - | - |
| 5 | Média (2 mm) | 0,12 | 0,08 | 66,89% |
| 6 | | 1,95 | 1,71 | 87,91% |
| 7 | | 1,11 | 1,07 | 96,39% |
| 8 | | 0,00 | - | - |
| 9 | Fina (1 mm) | 0,26 | 0,10 | 40,43% |
| 10 | | 0,47 | 0,36 | 74,85% |
| 11 | | 1,02 | 0,92 | 89,84% |
| 12 | | 0,00 | - | - |

O comportamento de redução da atividade enzimática no imobilizado foi observado também por outros autores (Ferraz *et al.*, 2000; Malvessi *et al.*, 2010; Carra, 2012; Flores, 2019), podendo ser causados por efeitos difusionais, com aumento da resistência a transferência de massa imposta pelo suporte, efeitos conformacionais ou de microambiente (Lima *et al.*, 2013).

Outra possível razão para redução da atividade enzimática, é que quando se utiliza o imobilizado uma reduzida quantidade de célula seca é possível de ser utilizada no meio reacional, resultado da baixa densidade da espuma e a necessidade de manter o sistema em agitação. Assim, quando se avalia o micro-organismo livre é padrão utilizar-se de 4 $g_{célula\ seca}$ $L^{-1}$ de meio reacional e quando se avalia o imobilizado uma variação de 0,54 a 1,60 $g_{célula\ seca}$ $L^{-1}$ foi passível de ser usado no sistema. É possível, desta forma, que nesta faixa de concentração o substrato encontra-se em excesso em relação à concentração do biocatalisador, reduzindo a atividade enzimática, conforme também sugerido por Carra (2012).

Os resultados mostraram uma redução da atividade enzimática após reuso do imobilizado, sugerindo que pode haver células fracamente aderidas ao suporte e são lixiviadas ao meio reacional. Porém, é válido observar a influência positiva do tratamento com alginato de cálcio nas espumas. É possível afirmar que este tratamento aumentou a estabilidade operacional nas três dimensões avaliadas, sendo diretamente proporcional a concentração do alginato de sódio utilizado. Todavia, com o uso de alginato de sódio 1%, não se observou mais atividade enzimática pelo método utilizado, sugerindo elevadas limitações difunsionais.

Os resultados sugerem que o uso da espuma média tratada com alginato de sódio 0,25% e cloreto de cálcio 0,05 M apresentou melhores resultados, seguida da espuma média ou fina com alginato de sódio 0,50% e cloreto de cálcio 0,10 M, principalmente frente as espumas em cubos, que é popularmente investigada. Desta forma, embora para imobilização de *Z. mobilis* e seu complexo enzimático o método resultou em baixa atividade enzimática, o uso combinado de imobilização com dois diferentes suportes pode ser uma alternativa, servindo como base para outras pesquisas na área.

## 4. CONCLUSÃO

A espuma imobilizada com *Z. mobilis* e complexo enzimático por contato apresentou o maior valor de atividade enzimática de 1,95 $U_{inicial}$ $g_{célula_seca}^{-1}$, neste estudo. E embora, o método tenha resultado em baixa atividade enzimática, o uso combinado de imobilização com dois diferentes suportes aumentou a estabilidade operacional nas três dimensões avaliadas, sendo diretamente proporcional a concentração do alginato de sódio utilizado, com limitações. Observou-se também que o uso do suporte em dimensões menores resulta em melhores atividades, principalmente quando comprado ao uso em cubo, o qual é habitualmente investigado na literatura. Desta forma, esse estudo apresentou uma alternativa de imobilização com método combinado, servindo como base para outras pesquisas na área.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, CNPq, FAPERGS e URI pela concessão de bolsas e apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

Alonso, S., Rendueles, M. e Díaz, M., 2012. Role of dissolved oxygen availability on lactobionic acid production from whey by *Pseudomonas taetrolens*. *Bioresource Technology*, Vol. 109, p. 140–147.

Baldwin, C., Akashe, A., Dinwoodie, R., Koka, R., West, L.G. e Kortum, O., 2009. Use of siderophores and organic acid to retard lipid oxidation. *US Patent* 7.595.073 B2.

Bertasso, M., Silveira, M.M. e Mancilha, I.M., 1996. Preservação da atividade da enzima glicose-frutose oxidorredutase em células imobilizadas de *Zymomonas mobilis.* In: XI Simpósio Nacional de Fermentações. *Anais*... São Carlos, p.476.

Carra, S. *Estudo cinético da produção de ácido lactobiônico e sorbitol por enzimas periplasmáticas de Zymomonas mobilis*. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2012.

Chun, U.H. e Rogers, P.L., 1988. The Simultaneous Production of Sorbitol from Fructose and Gluconic Acid from Glucose Using an Oxidoreductase of *Zymomonas mobilis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 29, pp. 19-24.

de Ory, I., Romero, L.E. e Cantero, D., 2004. Optimization of immobilization conditions for vinegar production. Siran, wood chips and polyurethane foam as carriers for Acetobacter aceti. *Process Biochemistry*, Vol. 39, p. 547-555.

Devi, S. e Sridhar, P., 2000. Production of cephamycin C in repeated batch operations from immobilized *Streptomyces clavuligerus*, *Process Biochemistry*, Vol. 36, p. 225–231.

Doelle, H.W., Crittenden, R., Toh, H. e Doelle, M.B., 1993. *Zymomonas mobilis*: science and industrial apllication. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol. 13, n. 57-58.

Faergemand, M., Gilleladen, C. e Qvist, K.B., 2012. Method for producing an acidifed milk product. *US Patent Application Publication* 20120045546 A1.

Ferraz, H.C., Borges, C.P. e Alves, T.L.M., 2000. Sorbitol and gluconic acid production using permeabilized *Zymomonas mobilis* cells confined by hollow-fiber membranes. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 89, p. 43-53.

Flores, M.L., 2019. *Síntese biocatalítica, recuperação e caracterização físico-química do ácido maltobiônico.* Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.

Folle, A.B., Baschera, V.M., Carra, L.T.V.S., Polidoro, T.A., Malvessi, E. e Silveira, M.M., 2018. Assessment of diff erent systems for the production of aldonic acids and sorbitol by calcium alginate-immobilized *Zymomonas mobilis* cells. *Bioprocess Biosystems Engineering*, Vol. 41, p. 185–194.

Gerling, K.G., 1998. Large scale production of lactobionic acid use and new applications. *Internation Dairy Federation*, p. 251-261.

Gibbs, M. e De Moss, R.D., 1954. Anaerobic dissimilation of C14 – labeled glucose on fructose by *Pseudomonas lindneri*. *The Journal Biological Chemistry*, Vol. 207, p. 689-694.

Hardman, M.J. e Scopes, R.K., 1988. The kinetics of glucose-fructose oxidoreductase from *Zymomonas mobilis*. *European Journal of Biochemistry*, Vol. 173, p. 203-209.

Grover, N., Planks, J.G., Summers, S.R., Chado, G.R., Schurr, M.J. e Kaar, J.L., 2016. Acylase-containing polyurethane coating with anti-biofilm activity. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 113, n. 12, p. 2535-2543.

Guncheva, M., Paunova, K., Dimitrov, M. e Yancheva, D., 2014. Stabilization of Candida rugosa lipase on nanosized zirconia-based materials. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, Vol. 108, p. 43-50.

Jang, I. H., Jung, S. G. Chang, H. S., Chun, U. H. Improvement of the Process for Sorbitol Production with *Zymomonas mobilis* Immobilised in k-Carrageenan. Process Biochemisrty, v. 31, n. 5, p. 485-492, 1996.

Kim, I.S. e Kim, S.H., 2002. Development polymeric nanoparticulate drug delivery system: in vitro characterization of nanoparticles based on super-containing conjugates. *International Journal of Pharmaceutics*, Vol. 245, p. 67-73.

Koehntopp, P.I., Pinheiro, H.M.V., Silveira, M.M. e Jonas, R., 1996. Estudo da imobilização de *Zymomonas mobilis* em poliuretano visando a produção de sorbitol e ácido glucônico. In: XI Simpósio Nacional de Fermentações. *Resumos…* São Carlos, p.470.

Koka, R., Mehnert, D.W., Fritsch, R.J., Steffan, W., Habermeier, P., Bradbury, A.G.W., Rohrmoos, A., Wolfschoon-Pombo, A. e Rose, M., 2005. Process for manufacturing cheeses and other dairy products and products thereof. *US Patent* 6916496B2.

Lima, U.A., Aquarone, E., Borzani, W. e Schmidell, W., 2013. *Biotecnologia Industrial*. São Paulo: Edgard Blücher, 593 p., 2013.

Lima, O.G., Schumacher, I.E. e Araújo, J.M., 1972. New conservations about the antagonist effects of *Zymomonas mobilis* var *recifensis*, ecological aspects of some problems in microbiology. *Revista do Instituto Antibiótico*, Vol. 12, n. 57-68.

Madigan, M.T., Martinko, J.M e Parker, J., 2010. *Microbiologia de Brock*. 10. ed., São Paulo: Pearson Education, p. 350-351.

Malvessi, E., Concatto, K., Carra, S. e Silveira, M.M., 2006. Formulation of medium for growth and production of ethanol and intracellular enzymes by *Zymomonas mobilis*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Vol. 49, p. 39-144.

Malvessi, E., Carra, S., Pasquali, F.C., Kern, D.B., Silveira, M.M. e Ayub, M.A.Z., 2013. Production of organic acids by periplasmic enzymes present in free and immobilized cells of *Zymomonas mobilis*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, Vol. 40, p. 1–10.

Malvessi, E., Carra, S., Silveira, M.M. e Ayub, M.A.Z., 2010. Effect of substrate concentration, pH, and temperature on the activity of the complex glucose–fructose oxidoreductase/glucono-δ-lactonase present in calcium alginate-immobilized *Zymomonas mobilis* cells. *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 51, p. 1-6.

Miyake, T. e Sato, Y., 1975. Process for the production of foods and drinks with the employment of maltobionc acid. *US Patent* 3.899.604.

Mukhopadhyay, R., Chatterjee, S., Chatterjee, B.P., Banerjeeb, P.C. e Guha, A.K., 2005. Production of gluconic acid from whey by free and immobilized *Aspergillus niger*. *International Dairy Journal*, Vol. 15, p. 299–303.

Nielsen, P.M., 2009. Meat based food product comprising lactobionic acid. *US Patent Application Publication* 0214752 A1.

Nielsen, P.M., 2010. Maltobionate as antioxidant in food products. US Patent Application Publication 2010/0173044 A, 2010.

Nielsen, P.M. e Hoeier, E., 2009. Food products containing aldobionic acid. *WO Patent Application Publication* 007398 A1.

Nordkvist, M., Gutiérrez, L.P., Hamoudi, S. e Belkacemi, K., 2012. Lactobionic acid: A high value-added lactose derivative for food and pharmaceutical applications. *International Dairy Journal*, Vol. 26, p.103-111.

Oe, K. e Kimura, T., 2011. Aging inhibitor for bread. *JP Patent Application Publication* 2011177121, 2011.

Rehr, B., Wilhem, C. e Sahm, N., 1991. Production of sorbitol and gluconic acid by permeabilized cells of *Zymomonas mobilis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 35, p. 144-148.

Swings, J. e De Ley, J., 1977. The Biology of *Zymomonas*. *Bacteriological Reviews*, v. 41, n. 1, pp. 1-46.

Vassilev, N.B., Vassileva, M.C., Spassova, D.I., 1993. Production of gluconic acid by *Aspergillus niger* immobilized on polyurethane foam. *Applied Microbiology Biotechnology*, Vol. 39, p. 285-288.

Vignoli, J.A., Celligoi, M.A.P.C. e Silva, R.S.F., 2006. Development of a statistical model for sorbitol production by free and immobilized *Zymomonas mobilis* in loofa sponge *Luffa cylindrica*. *Process Biochemistry*, Vol. 41, p. 240–243.

Viikari, L., 1984. Formation of Levan e Sorbitol form Sucrose by *Zymomonas mobilis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 19, pp. 252-255.

Walter, T., Begli e H.A., 2011. Flavour enhancer. *US Patent Application Publication* 0244080 A.

Wanick, M.C., Araújo, J.M., Silva, E.C., Schumacher, I.E., 1970. Cura de vaginites de etiologia variada pelo emprego de cultura de *Zymomonas mobilis*. *Revista do Instituto Antibiótico*, Vol. 10, p. 47-49.

Yuen, S., 1974. Mixture of maltobionic acid and monosodium glutamate as a food seasoning. *US Patent* 3.829.583.

Zachariou, M. e Scopes, R.K., 1986. Glucose-fructose oxidoreductase, a new enzyme isolated from *Zymomonas mobilis* that is responsible for sorbitol production. *Journal of Bacteriology*, Vol. 3, p.863-869.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE EXTRATOS DE SEMENTE DE TANSAGEM (*Plantago major* e *Plantago tomentosa*)

**Roberta Cristina de Souza**
**Sandra Palavicini**
**Júlia Lisboa Bernardi**
**Morgana de Marco**
**Rogério Luis Cansian**
**Clarice Steffens**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Av. Sete de Setembro, 1621, Erechim-RS, Brasil. CEP 99709-910
robertacristina89@hotmail.com
spalavicini@emater.tche.br
julialisboabernardi@yahoo.com
morganademarco@gmail.com
cansian@uricer.edu.br
clarice@uricer.edu.br

***Resumo:*** *A tansagem é uma antiga planta medicinal, reconhecida uma planta alimentícia não convencional, porém ainda considerada erva daninha por diversas pessoas. Existem muitos tipos de tansagem, sendo a Plantago major (P. major) a de maior valor medicinal e a Plantago tomentosa (P. tomentosa) amplamente distribuída pelo território brasileiro e menos estudada. O potencial da Plantago como fontes de compostos biologicamente ativos e a falta de informação sobre P. tomentosa estigaram este estudo, cujo o objetivo foi extrair por maceração a frio compostos bioativos de sementes de P. major e P. tomentosa com atividade antibacteriana. As sementes das duas espécies de tansagem foram obtidas no município de Jacutinga/RS e após seleção passaram por processo de extração por maceração a frio, fracionada e sequencial com os solventes n-hexano, diclorometano e etanol, tendo o rendimento e a atividade antibacteriana determinada. Os rendimentos obtidos foram de 11,025 ± 0,704 e 12,923 ± 0,969% (base seca), para os extratos das sementes de P. major e P. tomentosa, respectivamente. Os extratos de ambas as sementes apresentaram boa concentração inibitória mínima (CIM) frente a Staphylococcus aureus, Listeria monocytogenes, Escherichia coli e Salmonella choleraesuis para todos os extratos, com CIM entre 1,29 e 3,75 mg/mL. Desse modo, este estudo demonstrou que o método de extração escolhido foi capaz de obter extratos com atividade antibacteriana, valorizando uma planta muitas vezes negligenciada*.

***Palavras chave:*** *Plantago major, Plantago tomentosa, tansagem, extração, atividade antibacteriana.*

## 1. INTRODUÇÃO

O homem através do seu conhecimento empírico e estudos observou que a presença de substâncias encontradas nas plantas quando usadas sob a forma de mistura complexa ou transformada podem beneficiar o organismo (Silva *et al.*, 2010). Neste contexto, a utilização das plantas tem sido uma prática generalizada pela medicina popular tanto nas zonas urbanas com rurais, de forma alternativa ou complementar aos tratamentos da medicina convencional (Dorigeni *et al.*, 2001).

O gênero *Plantago* (Plantaginaceae), popularmente conhecida como tansagem, é uma antiga planta medicinal e é amplamente distribuído em todo o mundo, incluindo 275 espécies (Samuelsen, 2000). A tansagem é muitas vezes considerada como planta "daninha", pois permeiam entre as plantas cultivadas, embora possua potencial alimentício e é reconhecida como uma PANC (Planta Alimentícia Não Convencional) (Samuelsen, 2000; Kinupp e Lorenzi, 2015).

As espécies *Plantago major* (*P. major*) e *Plantago tomentosa* (*P. tomentosa*) têm origem no Norte da Europa e Ásia Central, adaptando-se bem a regiões tropicais (Velasco-Lezama *et al.*, 2006). No Brasil, a tansagem é encontrada em diversos domínios fitogeográficos, especialmente em terrenos úmidos e em climas temperados: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa, sendo encontrada desde o Norte até o Sul do país (Brasil, 2014).

Dentre os tipos de tansagem, a *P. major* apresenta maior valor medicinal (Samuelsen, 2000), compondo a lista de drogas vegetais notificadas, inserida na Resolução RDC nº 10, de 10 de março de 2010 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2010). A *P. major* é utilizada como agente anestésico, antiviral, antiinflamatório,

adstringente, anti-helmíntico, analgésico, analéptico, anti-histamínico, anti-reumático, antitumoral, anti-úlcera, diurético, expectorante e hipotensivo na medicina popular (Brasil, 2014).

A espécie *P. major* destaca-se por suas atividades biológicas (Samuelsen, 2000), sendo empregados diferentes métodos de extração, como maceração, percolação, infusão, turbólise, Soxhlet, refluxo, ultrassom e supercrítica (Brasil, 2014).

A maceração pode ser realizada de forma sequencial e fracionada. Na sequencial são extraídos compostos mais seletivos, de acordo com o solvente empregado e a respectiva afinidade com as propriedades químicas a serem extraídas, desta forma múltiplos solventes podem ser utilizados, sendo estes comumente do menos polar ao mais polar, restringindo o número de compostos análogos no extrato (Yang *et al.* 2007; Azmir *et al.*, 2013, Patel *et al.*, 2016; Altemimi *et al.*, 2017). Já na extração fracionada, é possível obter um melhor rendimento do extrato, pois ao se aplicar o fracionamento dos solventes, evita-se a saturação dos mesmos, reduzindo o tempo de extração e melhorando seu desempenho.

A seletividade, a solubilidade, o custo e a segurança devem ser considerados na seleção de solventes. Com base na lei da semelhança e da intermiscibilidade (semelhante dissolve semelhante), solventes com um valor de polaridade próximo à polaridade do soluto provavelmente terão um desempenho melhor e vice-versa (Zhang *et al.*, 2018). Dentre esses solventes, os compostos orgânicos se destacam, como n-hexano, clorofórmio, etilacetato, acetona, etanol e água (Chanda e Kaneria, 2012; Patel *et al.*, 2016; Altemimi *et al.*, 2017; Jovanović *et al.*, 2017).

Na literatura são encontrados alguns estudos de extração com a semente de *P. major* (Kobeasy *et al.*, 2011; Souri *et al.*, 2008; Yanling, 2017; Samuelsen *et al.*, 1999). Porém, não foram encontrados relatos científicos estudando a extração de sementes da *P. tomentosa*, sendo essa planta encontrada em todo o território brasileiro, principalmente na região Sul do Brasil (Velloso *et al.*, 2007).

Desta forma, considerando o potencial das espécies de Plantago como fontes de compostos biologicamente ativos e a falta de informação sobre *P. tomentosa*, este estudo buscou extrair compostos bioativos de sementes de tansagem (*P. major* e *P. tomentosa*) com atividade antibacteriana, a partir do método de extração fracionada e sequencial com solventes de diferentes graus de polaridade.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção da Matéria Prima

As sementes das duas espécies de tansagem (*P. major* e *P. tomentosa*) foram obtidas no município de Jacutinga, Rio Grande do Sul (Brasil), com coordenadas geográficas 27°43’51.03”S e 52°32’00.09”O, 27°43’53.78”S e 52°32’00.70”O, nos meses de outubro e novembro de 2017, respectivamente.

As sementes foram colhidas manualmente de várias plantas e secas em temperatura ambiente 25 °C e a sombra. Após, foram limpas para retiradas de cascas e sujidades, selecionadas, moídas em moinho de faca (Micro moinho tipo Willye; modelo MA048, Brasil) e peneiradas em peneira de análise granulométrica (Bronzinox, Brasil) mesh 35, e posteriormente armazenadas sob refrigeração (refrigerador doméstico 220, Brastemp, Brasil) a 4 °C por até 10 meses antes da etapa de extração. Na Fig. 1 são apresentadas as sementes da *P. tomentosa* e *P. major*, a qual se diferencia principalmente em relação ao tamanho e à coloração.

Ambas as sementes foram depositadas para identificação no Herbário Padre Balduino Rambo (HPBR), Erechim/RS sob o número de registro de exsicata 12.282 e 12.285, respectivamente.

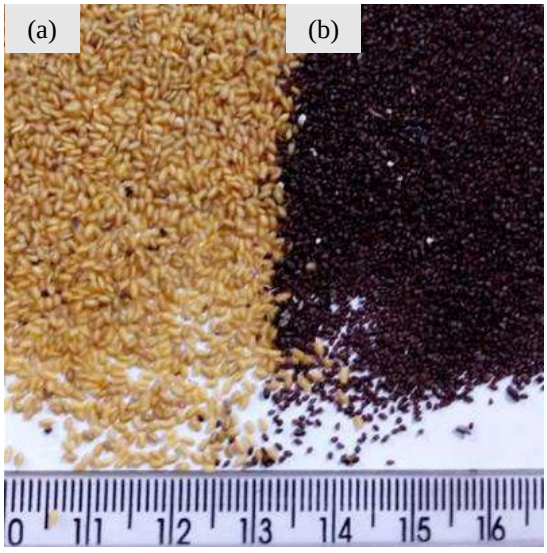



Figura 1. Sementes de duas espécies de tansagem (a) *P. tomentosa* e (b) *P. major*.

### 2.2 Obtenção dos extratos

A extração das sementes de tansagem foi realizada por maceração (método a frio) sequencial e fracionada, conforme metodologia descrita pela Farmacopéia Brasileira (1998 e 2002), com algumas modificações.

Os solventes n-hexano (95.0% - Sigma–Aldrich, Alemanha), diclorometano (99.5% - Sigma–Aldrich, Alemanha) e etanol (99.8% - Sigma–Aldrich, Alemanha) foram utilizados sequencialmente em um mesmo material vegetal, na proporção de 10 g de sementes moídas em 120 mL de cada solvente, sendo cada solvente adicionado em frações de 3 partes de 40 mL, visando minimizar a saturação do mesmo. As frações de solventes foram trocadas a cada 12 h, com filtragem em papel filtro (Whatman nº 1, Reino Unido), totalizando 108 h de maceração. Toda a extração foi realizada a temperatura controlada de 4 °C (± 2 °C) em refrigerador doméstico (Brastemp, Brasil) estático e ao abrigo da luz.

Os solventes utilizados foram escolhidos em função da sua polaridade, com a finalidade extrair diferentes compostos na mesma amostra: o n-hexano (polaridade 0), diclorometano (polaridade 3,1), por apresentar polaridade intermediária dentre os solventes selecionados e etanol (polaridade 5,2) (Byers, 2007 *apud* Mezzomo *et al.*, 2010). As extrações seguiram o acréscimo de polaridade dos solventes, iniciando-se com o n-hexano, seguido do diclorometano e etanol.

### 2.3 Rendimento

Os extratos obtidos através da maceração foram evaporados em rota-evaporador (modelo 802, Fisatom, Brasil) sob vácuo de - 650 mmHg e rotação de 70 rpm e a 40 °C. O rendimento das extrações da *P. major* e *P. tomentosa* nos diferentes solventes (n-hexano, diclorometano e etanol) foi avaliado, em triplicata, por gravimetria pela diferença de peso entre o balão de fundo redondo com o extrato obtido após rotaevaporação e o balão inicialmente vazio, após ser mantido a 105 °C em estufa (Fanem®, modelo 320-SE, Brasil), até peso constante e pesado em balança analítica (AS200, OHAUS, Estados Unidos da América).

Os extratos resultantes foram ressuspendidos em etanol 99,8% na concentração de 100 mg/mL (extrato padrão) para posterior avaliação da atividade antibacteriana.

Os extratos obtidos foram acondicionados em frascos âmbar e armazenados em refrigerador doméstico (refrigerador 220, Brastemp, Brasil) a 4 ºC para posterior análises dos mesmos. E os resultados foram avaliados estatisticamente pela ANOVA e teste de Tukey e de *T* S*tudent* com auxílio do software Statistic 5.0, ao nível de significância de 95% de confiança.

### 2.4 Determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM)

A atividade antibacteriana dos extratos obtidos foi determinada pela Concentração Inibitória Mínima (CIM), utilizando o método indireto de crescimento bacteriano, mediante a densidade ótica em meio de cultura líquido, segundo Pierozan *et al*. (2009), com modificações. A determinação da CIM foi realizada sobre as bactérias Gram-negativas *Salmonella choleraesuis* - ATCC 10708 (*S. choleraesuis*) e *Escherichia coli* - ATCC 25922 (*E. coli*) e as Gram-positivas *Staphylococcus aureus* - ATCC 6538 (*S. aureus*) e *Listeria monocytogenes* - ATCC 7644 (*L. monocytogenes*), as quais foram previamente crescidas em caldo Luria Bertani (LB - 10 g/L triptona, 5 g/L extrato de levedura, 5 g/L cloreto de sódio) a 37 °C por 24 h, obtendo-se uma contagem microbiana de $10^8$ UFC/mL.

Após este período, 10 µL de culturas ativas foram inoculadas em poços de microplacas de fundo chato, contendo caldo LB e diferentes concentrações dos extratos das duas espécies de sementes de tansagem, totalizando um volume final de 310 µL por poço. Cada concentração de extrato foi avaliada em triplicada e como branco e controle foram avaliados poços contendo apenas meio de cultura e meio de cultura com o micro-organismo, respectivamente.

Posteriormente, as microplacas foram incubadas em estufa (Fanem®, modelo 320-SE, Brasil) a 37 °C por 24 h. Antes e após o período de incubação, 0 e 24 h, respectivamente, foi realizada a leitura da microplaca, utilizando-se o leitor automático de microplacas (Bio-Tek Instruments Inc., modelo EL800, Estados Unidos da América), com comprimento de onda pré-selecionado de 490 nm. A CIM foi determinada como a menor concentração de extrato que não gerou alteração na turbidez, obtida pela diferença entre as leituras após 24 h e inicial.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Rendimento da Extração

Os rendimentos obtidos nas extrações usando os solventes n-hexano, diclorometano e etanol para as duas espécies de tansagem estão apresentados na Tab. 1. Pode-se observar um maior rendimento para o extrato de *P. major* com n-hexano (7,5%) diferindo estatisticamente ($p<0,05$) dos extratos com diclorometano e etanol. Para a *P. tomentosa* os maiores rendimentos foram obtidos nos extratos com o n-hexano (5,62%) e diclorometano (4,88%), não apresentando diferença significativa ($p>0,05$).

Essa diferença no rendimento entre as amostras do extrato pode ser atribuída à diferença nas polaridades do solvente, aumentando a solubilidade dos compostos fitoquímicos (Naima *et al*., 2015). Os resultados obtidos indicam, portanto, que as sementes de *P. major* possuem maior quantidade de compostos de polaridade baixa e menor quantidade

de compostos de polaridade intermediária a alta. Já as sementes de *P. tomentosa* possuem maior quantidade de compostos de polaridade baixa a intermediária, e menor quantidade de compostos de polaridade alta.

Tabela 1. Rendimento da massa do extrato usando os solventes n-hexano, diclorometano e etanol para *P. major* e *P. tomentosa*.

| **Solventes** | **Rendimento (%) (b.s.)** | |
|---|---|---|
| | ***P. major*** | ***P. tomentosa*** |
| **n-hexano** | $7{,}506^{a,A} \pm 0{,}806$ | $4{,}877^{a,B} \pm 1{,}012$ |
| **Diclorometano** | $1{,}730^{b,B} \pm 0{,}132$ | $5{,}617^{a,A} \pm 0{,}602$ |
| **Etanol** | $1{,}789^{b,A} \pm 0{,}145$ | $1{,}806^{b,A} \pm 0{,}604$ |
| **Rendimento Total** | **11,025 ± 0,704** | **12,923 ± 0,969** |

Média ± desvio padrão; letras minúsculas diferentes na mesma coluna e letras maiúsculas diferentes na mesma linha correspondem a diferença estatística ao nível de 5% pelo Teste de Tukey e t *student*, respectivamente.

De acordo com Kumoro e Singh (2009), matrizes vegetais contêm várias moléculas de diferentes grupos funcionais, de forma que é difícil predizer a solubilidade das mesmas em um solvente específico. A solubilidade de substâncias se dá em função de uma afinidade química existente entre as espécies em um sistema em relação a polaridade. A polaridade, por sua vez, pode ser definida como a habilidade que uma molécula tem de interagir fortemente com outras moléculas polares (Mezzomo, 2008).

Comparando-se as duas espécies, verifica-se um maior rendimento para o extrato de *P. major* obtido em n-hexano, enquanto que para as extrações com diclorometano a *P. tomentosa* apresentou maior valor, apresentando diferença significativa entre as amostras ($p<0{,}05$). Contudo nos extratos com etanol não foi observada diferença significativa ($p>0{,}05$) entre os morfotipos de tansagem. As diferenças de rendimento de extração por maceração podem ocorrer por variações no tipo de solvente, temperatura e tempo de extração (Oliveira *et al.*, 2016).

Em relação ao rendimento total, a *P. tomentosa* obteve um melhor rendimento (12,92%) quando comparada com a *P. major* (11,02%). Esse rendimento pode ser considerado baixo quando comparado com a extração realizada por Fayera et al. (2018) em folhas de *P. lanceolata* que foi sequencialmente extraída em Soxhlet com solventes orgânicos, onde obtiveram um rendimento de 7,97% para o solvente éter de petróleo, 19,16% para clorofórmio/metanol (1:1) e 27,18% para metanol, respectivamente.

Os baixos rendimentos obtidos no extrato bruto e nas frações da maceração a frio se devem provavelmente ao uso de baixa temperatura no processo (4 ºC), ao contrário do que acontece com a extração com Soxhlet (70 ºC). Assim, a tensão superficial e viscosidade dos solventes permanecem relativamente altas, dificultando o acesso aos compostos solúveis da matriz e reduzindo o rendimento, mesmo que sejam utilizados os mesmos solventes que em extração Soxhlet (Mezzomo, 2008).

### 3.2 Atividade antibacteriana (CIM)

Os resultados de atividade microbiana, através da Concentração Inibitória Mínima (CIM) obtidos nas extrações por maceração a frio, usando diferente solventes (n-hexano, diclorometano e etanol) para as duas espécies de tansagem, utilizado o método indireto de crescimento bacteriano, mediante a densidade ótica em meio de cultura líquido expressos em mg/mL estão apresentados na Tab. 2.

Verificou-se que os extratos das sementes de tansagem possuem atividade antibacteriana frente às bactérias Gram-negativas *S. choleraesuis* e *E. coli*, e Gram-positivas *S. aureus* e *L. monocytogenes*. Os resultados encontrados no estudo são muito próximos entre os diferentes extratos e também em relação as duas espécies de sementes, ficando entre 1,29 mg/mL e 3,75 mg/mL para a *P. major*, enquanto que para a *P. tomentosa* os valores obtidos ficaram entre 1,62 mg/mL e 3,62 mg/mL.

Ünsal *et al.* (2010), obteve maior atividade antimicrobiana no extrato etanólico de *P. major*, o qual apresentou CIM igual a 0,01952 mg/mL frente a *S. aureus.* Frente aos outros micro-organismos estudados, os valores de CIM foram de 0,625 mg/mL para *Staphylococcus epidermidis* (*S. epidermidis*) e *Candida albicans* (*C. albicans*). Os autores também analisaram o extrato éter de petróleo, o qual apresentou valores de CIM de 0,1562 mg/mL para *S. aureus*; 0,3125 mg/mL para *S. epidermidis*; 0,625 mg/mL para *Shigella flexneri* e *C. albicans*. Ambos extratos foram pouco ativos para a *E. coli, Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*) e *Proteus mirabilis* (*P. mirabilis*) e inativos para a *Pseudomonas aeroginosa* (*P. aeruginosa).*

Tabela 2. Concentração Inibitória Mínima (CIM) de extratos usando os solventes n-hexano, diclorometano e etanol para *P. major* e *P. tomentosa*, expressos em mg/mL.

| **Bactérias** | **CIM (mg/mL)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Solventes** | | |
| | **n-hexano** | **Diclorometano** | **Etanol** |
| | | ***P. major*** | |
| *S. aureus* | 1,288 | 2,479 | 2,126 |
| *E. coli* | 1,288 | 1,239 | 2,126 |
| *L. monocytogenes* | 1,288 | 3,746 | 2,126 |
| *S. choleraesuis* | 1,288 | 1,239 | 2,126 |
| | | ***P. tomentosa*** | |
| *S. aureus* | 3,249 | 3,615 | 1,765 |
| *E. coli* | 2,436 | 1,807 | 2,354 |
| *L. monocytogenes* | 1,624 | 1,807 | 2,354 |
| *S. choleraesuis* | 2,436 | 1,807 | 1,765 |

Em outros estudos, foi observado que o extrato de éter de petróleo das folhas de *P. major* foi ativo frente à *E. coli*, apresentando valor de CIM igual a 0,3125 mg/mL (Uzun *et al.*, 2004). Ainda, o extrato etanólico demonstrou leve atividade frente à *Pseudomonas vulgaris*, com halo de inibição igual a 7,33 mm (Pehlivan *et al.*, 2012); e moderada inibição do crescimento de *E. coli* (42,5 mg/mL) e de *Bacillus cereus* (42,5 mg/mL) (Metiner *et al.*, 2012).

Vargas Neto (2004) avaliou o extrato etanólico de folhas e flores de *P. major* frente a diferentes cepas de *Candida*: *C. albicans, C. tropicallis, C. parapsilosis, C. guilliermondii, C. krusei* e *C. kerfyr*. O crescimento de *C. albicans* e *C. tropicalis* foi completamente inibido pelo extrato de tansagem. O extrato foi fracamente ativo frente a *C. guilliermondii*, não sendo ativo frente às cepas de *C. parapsilosis, C. krusei* e *C. kerfyr*.

Os extratos hidroalcoólicos das folhas da planta apresentaram efeito moderado frente a *C. krusei* (0,125 mg/mL), fraca inibição do crescimento de *S. aureus* e *C. tropicalis* (1 mg/mL), não sendo ativos contra *C. parapsilosis, Bacillus subtilis* (*B. subtilis*), *E. coli, P. aeruginosa* (Holetz *et al.*, 2002), *C. albicans* (Holetz *et al.*, 2002; Huamaní e Queiroz, 2005) e *Aspergillus niger* (>1 mg/mL) (Huamaní e Queiroz, 2005).

Velasco-Lezama *et al.*, (2006) analisaram a capacidade antimicrobiana dos extratos aquoso, metanólico, clorofórmico e hexânico das partes aéreas de *P. major*, frente à *E. coli, B. subtilis* e *C. albicans*. O crescimento de *B. subtilis* foi inibido pelo extrato aquoso de 78 a 21%, nas concentrações de 400 a 25 mg/mL. O extrato hexânico apresentou efeito inibitório sobre o crescimento de *E. coli*, o qual variou de 94 a 37%, nas mesmas concentrações. O extrato metanólico inibiu fracamente o crescimento de *B. subtilis* e o extrato clorofórmico inibiu fracamente o crescimento de *E. coli*.

Também, Velasco-Lezama *et al.* (2006) verificou que as atividades antibacterianas de folhas e sementes de *P. major* em água, metanol, clorofórmio e extratos de hexano foram positivos para *E. coli, B. subtilis* e culturas de *C. albicans* em diferentes faixas.

Adicionalmente, um estudo conduzido por Sharifa *et al*. (2012) testou toda a planta de *P. major* em extratos aquosos de metanol e etanol em *B. subtilis, S. aureus, C. albicans, C. tropicalis* e *E. coli*. Os resultados mostraram que os extratos de metanol e etanol demonstraram atividade bactericida contra bactérias Gram positivas e Gram-negativas em concentrações de 100 a 200 mg/mL. Isso foi provado usando a observação por microscopia.

Outro estudo conduzido por Metiner *et al.* (2012) examinou a atividade antibacteriana das folhas de *P. major* extraídas em acetona e etanol usando o método do líquido de macrodiluição (tubo). Ambos os extratos foram estudados em nove espécies de bactérias (*E. coli, B. cereus, B. subtilis, S. epidermidis, S. aureus, P. aeroginosa, K. pneumonia, Salmonella* Enteritidis *e P. mirabilis)*. Os resultados mostraram que o extrato de etanol foi eficaz apenas contra *E. coli* e *B. cereus*. Em contraste, o extrato de acetona de *P. major* mostrou efeito em todas as nove espécies de bactérias com diferentes concentrações.

## 4. CONCLUSÃO

O uso da extração por maceração a frio fracionada e sequencial com solventes de diferentes polaridades das sementes da tansagem apresentaram potencial aplicação para o processo de extração e obtenção de compostos com atividade biológica, com rendimentos de 11,025 ± 0,704 e 12,923 ± 0,969% (base seca), para os extratos das sementes de *P. major* e *P. tomentosa*, respectivamente.

A atividade antibacteriana foi expressa pela boa concentração inibitória mínima frente a *S. aureus, L. monocytogenes, E. coli* e *S. choleraesuis* para todos os extratos das duas sementes de tansagem, com CIM entre 1,29 e 3,75 mg/mL.

Adicionalmente, essa pesquisa contribui para a valorização de plantas regionais e para uma maior disseminação de conhecimento sobre a tansagem, uma planta muitas vezes negligenciada.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, CNPq, FAPERGS e URI pela concessão de bolsas e apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

Altemimi, A, Lakhssassi, N., Baharloue, A., Watson, D.G. e Lightfoot, D.A., 2017. Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. *Plants*, Vol. 6, p. 42.

Azmir, J., Zaidul, I.S.M., Rahman, M.M., Sharif, K.M., Mohamed, A., Sahema, F., JahuruL, M.H.A., Ghafoor, K., Norulaini, N.N. e Omar, A.K.M., 2013. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, Vol. 117, p. 426-436.

Brasil, 2014. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Monografia da espécie Plantago major L. (tanchagem).* Ação 20K5 (DAF/ SCTIE/MS)/2012. Brasília.

Brasil, 2010. Ministério da Saúde. Anvisa. *Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 10, de 9 de março de 2010.* Dispõe sobre a notificação de drogas vegetais junto à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e dá outras providências. Brasília: ANVISA.

Byers, J.A., 2010. Catálogo Phenomenex *apud* Mezzomo, N., Mileo, B.R, Friedrich, M.T., Martínez, J. e Ferreira, S.R.S. Supercritical fluid extraction of peach (*Prunus persica*) almond oil: Process yield and extract composition. *Bioresource Technology*, Vol. 101, p. 5622–5632.

Chanda, S.V. e Kaneria, M.J., 2012. Optimization of Conditions for the Extraction of Antioxidants from Leaves of Syzygium cumini L. Using Different Solvents. Food Analytical Methods, Vol. 5, p. 332–338.

Dorigeni, P.A., Ghedini, P.C., Almeida, C.E., Ethur, A.B.M., Lopes, A.M.V e Zachia, R.A., 2001. Levantamento de dados sobre plantas medicinais de uso popular, no município de São João do Polénesi, RS, Brasil. I - relação entre enfermidades e espécies utilizadas. *Revista Brasileira Plantas Medicinais*, Vol. 4, p. 69-79.

*Farmacopéia Brasileira*, 1988. São Paulo: Atheneu Editora Ltda.

*Farmacopéia Brasileira*, 2002. São Paulo: Atheneu Editora Ltda.

Fayera S., Neelaiah B.G., Dekebo, A. e Bogale, Y., 2018. Phytochemical Investigation and Antimicrobial Study of Leaf Extract of *Plantago lanceolata*. *Natural Products Chemistry Research*, Vol. 6, p. 1000311.

Holetz, F.B., Nakamura, T.U., Dias Filho, B.P., Cortez, D.A.G., Mello, J.C.P. e Nakamura, C.V., 2002. Effect of plant extracts used in folk medicine on cell growth and differentiation of *Herpetomonas samuelpessoai* (Kinetoplastida, Trypanosomatidae) cultivated in defined medium. *Acta Scientiarum*, Vol. 24, p. 657-662.

Huamaní, A.M.E. e Quiroz, R.J.R., 2005. Determinación de la actividad antifúngica contra *Candida albicans* y *Aspergillus niger* de 10 plantas medicinales peruanas de 3 departamentos del Perú. Tese (Doutorado em Agronomia), Facultad de Farmacia y Bioquímica, Lima, Perú.

Jovanović, A.A., Đorđević, V.B., Zdunić, G.M., Pljevljakušić, D.S., Šavikin, K.P., Gođevac, D.M. e Bugarski, B.M., 2017. Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum* L. herb using maceration, heat- and ultrasound-assisted techniques. *Separation and Purification Technology*, Vol. 179, p. 369–380.

Kinupp, V.F. e Lorenzi, H., 2014. Plantas alimentícias não convencionais (PNAC) no Brasil: *guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas.* Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda.

Kobeasy, M.I., Osama, M., Abdel-Fatah, M., El-Salam, S.M.A. e El-Ola, Z.M.M., 2011. Biochemical studies on *Plantago major* L. and *Cyamopsis tetragonoloba* L. *Internacional Journal Biodiversity and Conservation*, Vol. 3, p. 83–91.

Kumoro, A.C., Hasan, M. e Singh, H., 2009. Effects of solvent properties on the Soxhlet extraction of diterpenoid lactones from *Andrographis paniculata* leaves. *Science Asia*, Vol. 35, p. 306-309.

Metiner, K., Özkan, O. e Seyyal, A.K., 2012. Antibacterial effects of ethanol and acetone extract of *Plantago major* L. on gram positive and gram negative bacteria. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, p.18, p. 503-505.

Mezzomo, N., 2008. *Óleo de Amêndoa de Pêssego: Avaliação da Técnica de Extração, da Qualidade dos Extratos e de Parâmetros para Ampliação de Escala.* Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Mezzomo, N., Mileo, B.R., Friedrich, M.T., Martínez, J. e Ferreira, S.R.S., 2010. Supercritical fluid extraction of peach (*Prunus persica*) almond oil: Process yield and extract composition. *Bioresource Technology*, Vol. 101, p. 5622–5632.

Naima, R., Oumam, M., Hannache, H., Sesbou, A., Charrier, B., Pizzi, A. e Charrier – El Bouhtoury, F., 2015. Comparison of the impact of different extraction methods on polyphenols yields and tannins extracted from *Moroccan Acacia* mollissima barks. *Industrial Crops and Products*, Vol. 70, p. 245–252.

Oliveira, V.B., Zuchetto, M., Oliveira, C.F., Paula, C.S., Duarte, A.F.S., Miguel, M.D. e Miguel, O.G., 2016. Efeito de diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por clae-dad de *dicksonia sellowiana* (presl.). Hook, *dicksoniaceae*. *Revista Brasil Plantas Medicinais*, Vol. 18, p. 230-239.

Patel, S.M., VenkatA, K.C.N., Bhattacharyya, P., Sethi, G. e Bishayee, A., 2016. Potential of neem (*Azadirachta indica* L.) for prevention and treatment of oncologic diseases. *Seminars in Cancer Biology*, Vol. 40-41, p. 100-115.

Pehlivan Karakaş, F., Yildirim, A., Türker, A., 2012. Biological screening of various medicinal plant extracts for antibacterial and antitumor activities. *Turkish Journal of Biology*, Vol. 36, p. 641-652.

Pierozan, M.K., Pauletti, G.F., Rota, L., Santos, A.C.A., Lerin, L.A., Di Luccio, M., Mossi, A.J., Atti-Serafini, L., Cansian, R.L. e Oliveira, J.V., 2009. Chemical characterization and antimicrobial activity of essential oils of *salvia* L. species. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, Vol. 29, p. 764-770.

Samuelsen, A.B., Lund, I., Djahromi, J.M., Paulsen, B.S., Wold, J.K. e Knutsen, S.H., 199. Structural features and anti-complementary activity of some heteroxylan polysaccharide fractions from the seeds of *Plantago major* L. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 38, p. 133-143.

Samuelsen, A.B., 2000. The traditional uses, chemical constituents and biological activities of *Plantago major* L. A review. *Journal of Ethnopharmacology*, Vol. 71, p. 1-21.

Sharifa, A.A., Jamaludin, J., Kiong, L.S., Chia, L.A. e Osman, K., 2012. Anti-urolithiatic terpenoid compound from *Plantago major* Linn. (Ekor Anjing). *Sains Malaysiana*, Vol. 41, p. 33-39.

Silva, C.T.A., Pelinson, A.P. e Campelo, A.M., 2010. Abordagem etnobotânica acerca do uso de plantas medicinais na região urbana no município de Quedas do Iguaçu-Paraná. *Cultivando o Saber*, Vol. 2, p. 14-25.

Souri, E., Amin, G., Farsam, H. e Barazandeh, T.M., 2008. Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts. *Daru*, Vol. 16, p. 83-87.

Ünsal, Ç., Vural, H., Sariyar, G., Özbek, B. e Ötük, G., 2010. Traditional medicine in Bilecik province (Turkey) and antimicrobial activities of selected species. *Turkey Journal of Pharmaceutical Sciences*, Vol. 7, p.139-150.

Uzun, E., Sariyar, G., Adsersen, A., Karakoc, B., Otük, G. e Oktayoglu, E., 2004. Traditional medicine in Sakarya province (Turkey) and antimicrobial activities of selected species. *Journal of Ethnopharmacology*, Vol. 95, p. 287-296.

Vargas Neto, P., 2004. Ação antifúngica de plantas medicinais e da própolis frente a leveduras do gênero Candida isoladas da cavidade bucal. Dissertação (Mestrado em Odontologia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná.

Velasco-Lezama, R., Tapia-Aguilar, R., Román-Ramos, R., Vega-Avila, E. e Pérez-Gutiérrez, M.S., 2006. Effect of *Plantago major* on cell proliferation *in vitro*. *Journal of Ethnopharmacology*, Vol. 103, p. 36-42.

Velloso, C.C. e Soares, M.A., 2007. Levantamento Etnobotânico de Plantas com Potencial Medicinal na Floresta Nacional de Canela/RS: *nossas plantas nossa vida*. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR.

Yang, D., Wang, H., Ke, L., Jiang, J. e Ying, T., 2007. Antioxidant activities of various extracts of lotus (*Nelumbo nuficera* Gaertn) rhizome. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition*, Vol. 16, p. 158-163.

Yanling, W., Yuge, N., Xin, Z., Bangquan, W., Qianqian, J., Jie, L. e Sheng, Y., 2017. Fatty Acid and Phytochemical Compositions of *Plantago* Seed Oils and Their Functionalities. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* Vol. 94, p. 905–912.

Zhang, Q.W., Lin, L.G. e Ye, W.C., 2018. Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinesa Medical*. 13:20.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA EM PALITO DE ERVA MATE (ILEX PARAGUARIENSIS ST. HIL) UTILIZANDO DIFERENTES SOLVENTES

**Rosicler Colet**[1]
**Diane Rigo**[1]
**Ilizandra Aparecida Fernandes**[1]
**Paulo Natan Alves dos Santos**[2]
**Jamile Zeni**[1]
**Rogério Dallago**[1]
**Alini Tinoco Fricks**[2]
[1]Engenharia de Alimentos e Engenharia Química - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), 99709-910, Erechim, RS, Brasil.
[2]Instituto de Tecnologia e Pesquisa - Universidade Tiradentes - 49032-490 - Farolândia, Aracaju - SE,
rosicler.colet@yahoo.com.br, dianerigo@hotmail.com, ,ilizandrafernandes@yahoo.com.br, nattan-9@hotmail.com, jamilezeni@uricer.edu.br, dallago@uricer.edu.br, alinitf@yahoo.com.br

***Resumo**: A imobilização de enzimas tem como principal objetivo melhorar o processo enzimático aumentando a atividade catalítica, estabilidade térmica e operacional do biocatalisador. O objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de imobilização da lipase Eversa® Transform 2.0 (Novozyme) em palito de erva mate (Ilex Paraguariensis St. Hil.) funcionalizado utilizando diferentes solventes. O palito de erva mate foi gentilmente cedido por uma ervateira do norte do estado do Rio Grande do Sul, posteriormente passou por um pré-tratamento alcalino, após foi realizada a imobilização utilizando diferentes solventes (hexano ou tampão nitrato de amônia pH10) e a avaliação da eficiência do processo de imobilização e os reusos do imobilizado. A atividade enzimática foi avaliada através de atividade de esterificação por meio de titulação com NaOH 0,1M. O processo de imobilização da lipase Eversa® Transform 2.0 em palito de erva mate funcionalizado apresentou rendimentos de 100,21% quando utilizado o tampão nitrato de amônia pH 10 e de 225,52% quando utilizado o solvente hexano. O imobilizado com solvente hexano apresentou um reuso de até 8 vezes, mantendo atividade de 65,62% em relação a atividade inicial.*

**Palavras chave:** *lipase Eversa® Transform 2.0, palito de erva mate, hexano, nitrato de amônia.*

## 1. INTRODUÇÃO

Proteínas são biomoléculas constituídas por polímeros de aminoácidos unidos por ligações peptídicas. As unidades que se repetem são denominadas resíduos de aminoácidos. O grupo carboxílico de um aminoácido se une ao grupo amina de outro aminoácido formando uma ligação peptídica (C-N), liberando uma molécula de água (Souza, 2013).

A ampla variação dos substituintes (denominados cadeias laterais) é o que dá às proteínas sua grande diversidade estrutural e, consequentemente, sua grande diversidade funcional. Algumas protegem os organismos de seu ambiente ou fortalecem certas estruturas biológicas. Um grupo de proteínas denominadas enzimas catalisa as reações químicas que ocorrem nos sistemas vivos (Souza, 2013).

Uma importante classe das proteínas são as enzimas. Enzimas são consideradas catalisadores naturais que aceleram a velocidade das reações, sendo altamente versáteis na catálise de vários tipos de reações que ocorrem sob condições brandas, normalmente à temperatura ambiente e em pH próximo da neutralidade. As velocidades de algumas reações podem alcançar valores de 10 vezes maiores do que as não catalisadas (Souza, 2013).

Dentre as enzimas, as lipases catalisam não somente reações de hidrólise, mas também as reações de esterificação e transesterificação, levando, por exemplo, à síntese de diferentes ésteres carboxílicos e amidas com elevada seletividade, proporcionando um processo eficiente (reação homogênea) devido a uma maior estabilidade de lipases e relativa facilidade de recuperação do produto a partir de solventes orgânicos, em comparação com água (Sharma *et al*., 2011; Mendes *et al*., 2012).

As lipases podem ser obtidas a partir de microrganismos (principal, por meio de fermentação submersa ou em estado sólido), esta sendo considerada como principal fonte de aplicação em escala industrial (Paques e Macedo, 2006); plantas ou tecido animal (ex. pâncreas suíno) (Brígida, 2006).

A lipase Eversa® Transform 2.0 é uma hidrolase de éster carboxílico (EC 3.1.1.3), produzida pela fermentação submersa de *Aspergillus oryzae* geneticamente modificada (NOVOZYMES, 2016; Jain e Naik, 2018), atuando na síntese de aromas (Yan *et al*., 2014; Kirdi *et al*., 2017) e de biodiesel (Amoah *et al*., 2016).

É importante ressaltar que as lipases toleram a presença de solventes orgânicos solúveis em água. Muitas lipases são ainda estáveis e ativas em solventes orgânicos puros. Isso permite transformações biocatalíticas de reagentes insolúveis em água, abre novos caminhos de reações e pode levar a seletividades alteradas (Ingenbosch, *et al*., 2019).

As lipases apresentam características importantes tais como especificidade, quimiosseletividade, regiosseletividade e enantiosseletividade. No entanto, a aplicação industrial é limitada devido a difícil recuperação e reutilização da enzima e a baixa estabilidade operacional. Neste contexto a imobilização de enzimas tem como principal objetivo melhorar o processo enzimático aumentando a atividade catalítica, estabilidade térmica e operacional do biocatalisador (Almeida, 2015).

Desde a década de 70 existem relatos na literatura sobre a imobilização de enzimas e, em 1971, essa técnica foi definida pela Primeira Conferência sobre Engenharia Enzimática como "enzimas ou sistemas enzimáticos fisicamente confinadas ou localizadas em uma região definida do espaço com retenção de suas atividades catalíticas, e que podem ser usadas repetida e continuamente" (Carvalho, Lima e Soares, 2014).

São várias as técnicas usadas para imobilização de enzimas. As mais conhecidas são: adsorção, ligação covalente, ligação iônica, quelação (Pinheiro e Gonçalves, 2005).

Ligação covalente ocorre com a inclusão de grupos ativos (ligantes) no suporte desejado com condições de reação normalmente severas. Posteriormente ocorrerão ligações covalentes entre os aminos terminais, resíduos de lisinas ou grupos funcionais específicos da enzima com os grupos ativos (ligantes) do suporte observando as condições para que ocorra a ligação covalente aconteça (Babaki *et al*., 2015; Knezevic *et al*., 2006).

Os suportes para imobilização podem ser classificados como materiais orgânicos e inorgânicos. Quanto à sua morfologia, podem ser porosos, não porosos e de estrutura em gel (Almeida, 2015).

Diversos estudos são realizados no sentido de aprimorar o sistema imobilizado (enzima-suporte) considerando o custo benefício, como por exemplo, tem se ganhado importância a utilização de resíduos agroindustriais como suporte para a imobilização de enzimas devido à grande disponibilidade e o baixo custo econômico (Almeida, 2015).

Os suportes orgânicos de origem vegetal recebem destaque por serem constituídos por lignina, celulose e hemicelulose, como por exemplo: fibra de coco verde, casca de arroz, talos de milho e algodão, os quais apresentam grupos hidroxila e carbonila que possibilita a inserção de grupos funcionais (Almeida, 2015).

Visando uma melhora no processo de imobilização, a realização de um tratamento no suporte a ser utilizado torna-se bastente interessante, podendo este ser físico, químico e/ou biológico, e ainda de forma unitária ou integrada, com o uso de duas ou mais técnicas, o que proporciona o aumento da área superficial e modificações químicas na superfície quando em suporte lignocelulósicos, podendo proporcionar um aumento na taxa de imobilização. Assim, o principal objetivo do tratamento dos suportes é desorganizar a estrutura cristalina das macro e microfibrilas, proporcionado o aumento na porosidade dos mesmos e, desta forma, facilitando a penetração da enzima nas fibras e/ou aumentar o número de ligações químicas entre a enzima e o suporte (Costa, 2015).

Sendo assim, a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) é componente dos sistemas tradicionais silviculturais mais antigos da região sul do Brasil. Por ser espécie climácica, cresce espontaneamente em ambiente sombreado do sub-bosque das matas de pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia* e matas subtropicais existentes na região, adaptando-se facilmente em consórcios com outras espécies florestais madeiráveis (Rossa *et al*., 2017).

Devido as suas características de plasticidade da cultura da erva-mate, devido a sua grande diversidade de compostos químicos foliares, a espécie também é empregada na produção de medicamentos, produtos de higiene geral e de uso pessoal, insumo para outros alimentos, sendo excelente bactericida, esterilizante e antioxidante, podendo ser usada no tratamento de esgotos e reciclagem do lixo urbano (Rossa *et al*., 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o processo de imobilização da lipase Eversa® Transform 2.0 (Novozyme) em palito de erva mate (*Ilex Paraguariensis* St. Hil.) funcionalizado utilizando diferentes solventes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Enzima

A enzima lipase Eversa® Transform 2.0 (Novozyme) foi gentilmente cedida por uma empresa localizada no norte do estado do Rio Grande do Sul.

### 2.2 Palito de erva-mate

O palito de erva mate foi gentilmente cedido por uma ervateira do norte do estado do Rio Grande do Sul, disponível em granulometrias diferentes (60, 20, 16 e 9 mesh).

### 2.2.1 Pré-tratamento

Para o pré-tratamento do suporte, foi utilizada a metodologia descrita por Santos *et al*. (2008), com modificações, onde utilizou-se 5 g do suporte *in natura* em erlenmeyer contendo 250 ml de NaOH 0,5 M, agitando-o por 24 horas a 150 rpm, em temperatura ambiente. Após o suporte foi neutralizado utilizando água destilada e mantido a 100ºC em estufa por 12 horas.

### 2.3 Imobilização

Para a realização da imobilização da lipase nos palitos de erva-mate, o mesmo foi funcionalizado segundo metodologia descrita por Queiroz *et al*. (2018), com modificações, onde o palito foi silanizado com aminopropiltrietoxisilano (APTS) 0,5% (v/v), com um volume que permitia cobrir toda a amostra, em rotaevaporador, agitado a 40 rpm, 75°C por 3 horas. Em seguida, o palito era lavado com hexano e mantido em estufa a 105°C por 15 horas. O palito silanizado foi ativado com uma solução de glutaraldeído 2,5% (v/v), com volume que permitia cobrir todo o suporte. A mistura foi mantida em agitação magnética por 1 hora a 25 °C, em seguida, foi filtrada a vácuo e lavada por 3 vezes com 10 mL de água destilada.

Na imobilização propriamente dita, foi utilizado 1 g de palito funcionalizado suspenso em 10 mL de solvente (hexano ou tampão nitrato de amônia pH10) e mantido sob agitação mecânica por 15 minutos. Em seguida, adicionou-se a solução de 0,3 g de enzima (10%). O sistema foi mantido sob agitação por 3 horas a 25 °C, em seguida, armazenado a 4 °C em condição estática, durante 24 horas. Posteriormente, o biocatalisador imobilizado foi filtrado e lavado com solvente (hexano ou tampão nitrato de amônia pH10) para retirada de enzimas não adsorvidas e mantido em dessecador por 72 horas. Após armazenado em geladeira até o momento das análises.

### 2.3 Atividade Enzimática

A atividade enzimática foi avaliada através do método de esterificação utilizando a metodologia de Hildebrand *et al*. (2009), com modificações, onde utilizou-se como substrato o ácido láurico e o etanol, com uma razão molar de 1:1, correspondendo à 3,5 M para cada amostra. A solução de substrato foi levada para o banho a 40 °C para diluir o ácido láurico, em seguida adicionou-se 10 % da enzima livre e/ou o suporte imobilizado deixando por 10 minutos sob agitação de 150 rpm. Para sessar a reação, 2 ml de solução acetanólica (1:1 (v/v)) foram adicionados em erlenmayer com alíquota de 150 µL de cada amostra e adicionadas 3 gotas do indicador fenolftaleína, sendo estas realizadas em triplicata. Após as amostras foram tituladas com NaOH 0,1 M, até coloração rosa claro e o volume anotado. Para o branco o procedimento foi o mesmo, porém não foi acrescentado a solução enzimática e/ou o biocatalizador imobilizado.

### 2.5 Eficiência do processo de imobilização

A eficiência de imobilização (%) e o número de unidades de enzima imobilizada (U) foram determinados pela diferença entre número de unidades de atividade lipásica oferecidas (Uo) e o número de unidades de enzima remanescente no filtrado (Uf), conforme Equação 1.

$$\text{Eficiência de imobilização (\%)} = \frac{(U_0 - U_f)\ 100}{U_0} \quad (1)$$

### 2.6 Reuso

O reuso foi realizado utilizando a metodologia descrita no item 2.4, ressaltando que a cada reação, o suporte foi retirado do meio reacional, lavado com solvente e filtrado com bomba de vácuo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Imobilização

De acordo com os resultados de testes preliminares definiu-se a granulometria do palito de erva-mate em 16 mesh "Fig. 1" devido a possibilidade de maior ligação da enzima ao suporte, bem como maior facilidade de recuperação do suporte junto ao meio.



(a) (b) (c)

Figura 1. Aspecto visual do palito de erva mate na granulometria de 16 mesh (a), do palito funcionalizado (b) e do imobilizado (c).

A lipase Eversa® Transform 2.0 na sua forma livre apresentou atividade de esterificação de 941,7 U/g.min. O processo de imobilização apresentou rendimentos de 100,21% e 225,52%, conforme Tab. 1, para o tampão nitrato de amônia pH 10 e hexano, respectivamente. Demostrando desta forma que o processo de imobilização utilizando o solvente hexano é mais eficiente.

Tabela 1. Rendimento do processo de imobilização, utilizando diferentes solventes, da lipase em palito de erva mate.

| **Enzima** | **Massa total (g)** | **Quantidade oferecida** | **Massa p/ esterificação(g)** | **U/g.min** | **Rendimento (%)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Livre | - | 282, 5 | 0,3 | - | - |
| Biocatalisador Imobilizado – tampão nitrato de amônia pH 10 | 1,485 | 282, 5 | 0,3 | 190,64 | 100,21 |
| Biocatalisador Imobilizado – hexano | 1,288 | 282, 5 | 0,3 | 494,65 | 225,52 |

Fonte: o autor

A utilização do solvente orgânico hexano, demonstrou ser mais eficiente em decorrência do suporte possuir características hidrofílicas e a enzima possuir características hidrofílícas e hidrofóbicas em sua estrutura, fazendo com que a mesma se ligue melhor ao suporte quando utilizado solvente orgânico, onde o solvente não foi absorvido pelo suporte. Já utilizando tampão nitrato de amônia pH 10, observou-se que o mesmo acabava sendo absorvido pelo suporte, dificultando o acesso da enzima.

### 3.1 Reuso/Ciclos

O reuso foi realizado utilizando somente o biocatalisador imobilizado com o solvente orgânico hexano em função do rendimento obtido ter sido maior (225,52%), conforme a Tab. 1.

O biocatalisador imobilizado com solvente orgânico, apresentou após a primeira reação, uma atividade residual de 75,58%, mantendo-se parcialmente constante até o sexto ciclo (74,82%). Entre o sétimo e nono ciclo a atividade residual decaiu ficando em torno de 65,62%. A partir do décimo ciclo observou-se a diminuição da atividade residual ficando menor que 50%, sendo considerado o parâmetro que determina que este imobilizado não poderá mais ser reutilizado, “Fig 2”.

Antunes *et al*. (2015) observaram um total de 6 e 4 reciclos com atividade residual de 50 % de lipase imobilizada em espuma flexível de Poliuretano- D18 e D30, respectivamente.

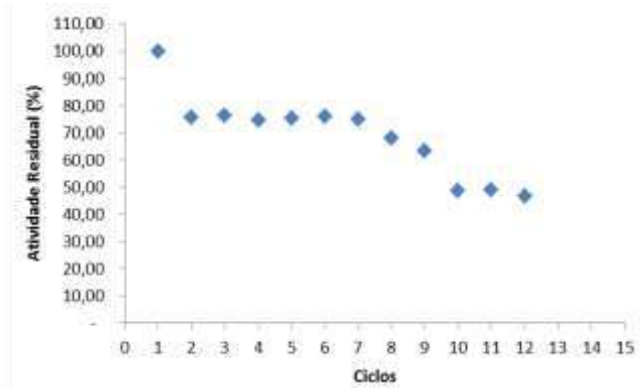



Figura 2. Avaliação da capacidade de reuso/ciclos da lipase imobilizada.

Em 2015, Costa, obteve 6 reciclos na reação de hidrólise do azeite de oliva utilizando lipase imobilizada em sabugo de milho, onde o biocatalisador imobilizado em suporte in natura apresentou uma redução da atividade a partir do terceiro ciclo, mantendo entre 55 a 60% da sua atividade inicial.

## 4. CONCLUSÃO

O processo de imobilização da lipase Eversa® Transform 2.0 em palito de erva mate funcionalizado apresentou rendimentos de 100,21% quando utilizado o tampão nitrato de amônia pH 10 e de 225,52% quando utilizado o solvente hexano. O imobilizado com solvente hexano apresentou um reuso de até 8 vezes, mantendo atividade de 65,62% em relação a atividade inicial.

## 5. AGRADECIMENTOS

À URI, UNIT e CAPES pelo apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

Almeida, L. C. de., 2015. Imobilização de lipase de *Burkholderia cepacia* Em biochar derivado de semente de goiaba (*Psidium guajava* L). Programa De Pós-graduação Em Engenharia De Processos – Pep. Universidade Tiradentes – UNIT.

Amoah, J. et al., 2016. Converting oils high in phospholipids to biodiesel using immobilized Aspergillus oryzae whole-cell biocatalysts expressing Fusarium heterosporum lipase . *Biochemical Engineering Journal*, n. 105, p. 10–15.

Antuns, A. et al., 2015. "Estudo Da Estabilidade Operacional Em Reciclo Contínuo Direto Da Lipase B De Candida Antarctica Imobilizada Em Espuma Flexível De Pu De Densidade 30 E18", p. 1239-1244 . In**:** Anais do XI *Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica* (Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3). ISSN Impresso: 2446-8711

Babaki, M.; et al, 2015. Preparation of highly reusable biocatalysts by immobilization of lipases on epoxy-functionalized silica for production of biodiesel from canola oil. *Biochemical Engineering Journal*, n. 101, p.23–31.

Brígida, A. I. S., 2006. Estudo da imobilização de lipase tipo B de *Candida antarctica* utilizando fibra da casca de coco verde como suporte. Departamento De Engenharia Química Programa De Pós Graduação Em Engenharia Química. Universidade Federal Do Ceará.

Carvalho, N. B; Lima, A. S. e Soares, C. M. F., 2014. Uso de sílicas modificadas para imobilização de lipases. *Quim. Nova*, Vol. 38, No. 3, 399-409.

Costa, D. M., 2015. Sabugo de milho como suporte para imobilização de lipase. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Processos – Pep. Universidade Tiradentes – unit.

Hildebrand, C. et al., 2009. Fatty acid ethyl esters production using a non-commercial lipase in pressurized propane medium. *Ciênc. Tecnol. Aliment*., Campinas, 29(3): 603-608, jul.-set.

Ingenbosch, K, N. et. al., 2019. A fluorescence-based activity assay for immobilized lipases in non-native media. *Analytical Biochemistry* 569, 22–27.

Jain, R.; Naik, S. N., 2018. Adding value to the oil cake as a waste from oil processing industry:Production of lipase in solid state fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, n. 15, p. 181–184.

Kirdi, R. et, al., 2017. Mycelium-bound lipase from Aspergillus oryzae as efficient biocatalyst for cis-3-hexen-1-yl acetate synthesis in organic solvent. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, n. 10, p. 13–19.

Knezevic, Z.; et. al., 2006. Immobilization of lipase from Candida rugosa on Eupergit® C supports by covalent attachment. *Biochemical Engineering Journal*, n. 30, p.269–278.

Novozymes, 2018. New enzyme technology converts waste oils into biodiesel. <https://www.novozymes.com/pt/news/news-archive/2014/12/new-enzymetechnology-converts-waste-oil-into-biodiesel>.

Paques, F. W.; Macedo, G. A., 2006. Lipases de látex vegetais: propriedades e aplicações industriais. *Química Nova*, v. 29, p. 93-99.

Pinheiro, A. D. T.; Brígida, A. I. S.; Gonçalves, L. R. B, 2005. Influência do ph no processo de imobilização de lipase em fibra da casca de coco verde. *VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*.

Queiroz, M. B. et al., 2018. Imobilização De Peroxidase De Raiz Forte Em Bagaço De Cana-De-Açúcar. *Quim. Nova,* Vol. 41, No. 9, 1019-1024.

Rossa B. Ü. et, al.,2017. Influência Da Luminosidade E Fertilizantes Nos Teores De Metilxantinas E Compostos Fenólicos Em Folhas De Erva-Mate. *Ciência Florestal, Santa Maria*, v. 27, n. 4, p. 1365-1374, out.-dez.

Santos, D. T.; et, al, 2008.; *J. Food Eng. 86*, 542.

Sharma, D.; Sharma, B.; Shukla, A. K, 2011. Biotechnological approach of microbial lipase: *A Review. Biotechnology*, n.10, p.23–40.

Souza, M.C., 2013. Imobilização de lipase de Cândida Antarctica do tipo B em nanopartículas magnéticas visando a aplicação na síntese de ésteres. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará.

Yan, H-D.; Zhang, Q.; Wang, Z., 2014. Biocatalytic synthesis of short-chain flavor esters with high substrate loading by a whole-cell lipase from Aspergillus oryzae. *Catalysis Communications*, n. 45, p. 59–62.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE PÃES DE QUEIJO COM AMIDOS NATIVOS E MODIFICADOS EM ESCALA INDUSTRIAL

**Rosicler Colet**
**Ronei Dariva**
**Alexandra Manzoli**
**Ilizandra Aparecida Fernandes**
**Geciane Toniazzo Backes**
**Eunice Valduga**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Erechim, Avenida Sete de Setembro, 1621, Erechim/ RS
rosicler.colet@bol.com.br, falecomorooney@hotmail.com, alexxiamanzoli@gmail.com, ilizandrafernandes@yahoo.com.br, gtoniazzo@uricer.edu.br, veunice@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O amido de mandioca é o principal ingrediente utilizado para obtenção do pão de queijo, tanto na forma nativa quanto modificada. As modificações provem melhorias no amido nativo tanto para o processo de fabricação, propiciando entre outras particularidades a maior resistência a ciclos de congelamento e reduzindo a necessidade do escaldo para gelatinização do amido, quanto para a melhora dos parâmetros físicos do produto, como o índice de expansão, volume especifico, densidade e textura. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi avaliar as características das massas de pão de queijo com 2 marcas comerciais de amido nativo de mandioca e de 3 marcas comerciais de amidos modificados de mandioca em escala industrial. A partir da combinação dos amidos nativos e modificados foram produzidas seis diferentes massas tendo como base uma formulação padrão onde foi avaliado a cor objetiva, pH, atividade de água, umidade e viscosidade. O uso dos diferentes amidos nativos e modificados interferiu significativamente nas características de cor, Aw, pH e viscosidade das massas, onde o tratamento M1 apresentou os menores valores de viscosidade e a maior estabilidade ao torque e a taxa de cisalhamento entre os tratamentos analisados.*

***Palavras chave:*** *Amido nativo, amido modificado, celíacos, pão de queijo*

## 1. INTRODUÇÃO

O pão de queijo é um produto tradicional do estado de Minas Gerais, Brasil (Silva *et al*., 2009), cuja produção aumentou muito nos últimos anos em associação com o crescimento do mercado, incluindo a exportação do produto, que chegou a US$ 19,6 milhões em 2017 (Apex Brasil, 2017). No mercado nacional, o pão de queijo ocupa o 3º lugar na lista dos produtos panificados, representando um percentual de 31% do total de todos os produtos desta classe comercializados no país (Food Magazine, 2015).

O pão de queijo é um produto de panificação que apresenta como benefícios ser uma grande fonte de energia, por causa de seu alto teor de carboidratos e grande aceitabilidade devido a suas características sensoriais, ainda contém quantidades consideráveis de proteínas, minerais e lipídios, por ter, entre seus ingredientes principais, além do polvilho ou fécula de mandioca, leite, queijo e ovo. Este produto pode ser consumido por pacientes celíacos, ou seja, por aquelas pessoas que apresentam intolerância à fração prolamina das proteínas presentes em alguns cereais, como trigo, centeio, cevada e aveia (Pereira *et al*., 2004; Acelbra, 2004).

O amido de mandioca constitui o principal ingrediente para fabricação do pão de queijo, entretanto as alterações decorrentes dos métodos de plantio, solo, sazonalidade, e técnicas de obtenção, fazem com que os amidos de mandioca comercializados para uso industrial apresentem características tecnológicas distintas, que afetam as propriedades reológicas da massa e a qualidade do pão de queijo (Aplevicz and Demiate, 2007).

A forma não modificada do amido tem uso limitado na indústria de alimentos. Os grânulos sem modificação se hidratam facilmente, incham rapidamente, se rompem e perdem viscosidade e produzem pasta com pouco corpo e muita coesão. Industrialmente é inconveniente a utilização do processo de escaldo do amido de mandioca (processo onde despeja-se sobre o amido uma mistura aquecida de óleo e água/leite para a gelatinização do amido de mandioca), devido aos gastos energéticos para prover o aquecimento de óleo e água, além da possibilidade de contaminação microbiana à

massa do produto, e desta forma podem ser associados amidos de mandioca modificados pré-gelatinizados a formulação, que são solúveis em água fria e desfazem a necessidade deste processo (Bello-Pérez *et al*., 2006).

O uso da modificação, física, química ou enzimática provem características importantes aos amidos de mandioca, entre elas podemos citar a maior resistência a ciclos contínuos de congelamento e descongelamento, a resistência ao cisalhamento, maior estabilidade frente a temperatura, maior rendimento, melhoras nas características do gel (textura e consistência) e a solubilidade em água fria (Andrade, 2012; Sun and Yoo, 2015).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar as massas das formulações de pão de queijo com diferentes amidos nativos e modificados em escala industrial.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Material e Delineamento Experimental

Neste estudo foram utilizadas duas marcas comerciais de amido nativo de mandioca (fécula de mandioca) (fécula de mandioca 1 (F1) e fécula de mandioca 2 (F2)) e três diferentes marcas comerciais de amidos de mandioca modificados obtidos por acetilação e pré-gelatinizados (amido modificado acetilado pré gelatinizado 1 (AM1) amido modificado acetilado pré gelatinizado 2 (AM2) e amido modificado acetilado pré gelatinizado 3 (AM3)).

Com estes ingredientes foram previamente desenvolvidas seis formulações (M1= F1 e AM1; M2= F1 e AM2; M3= F1 e AM3; M4= F2 e AM2; M5= F2 e AM3; M6= F2 e AM1) para os tratamentos, onde manteve-se inalterada a proporção de cada ingrediente na formulação padrão (Tab. 1), alterando-se os amidos nativos de mandioca entre as 2 marcas comerciais e as 3 marcas de amidos modificados acetilados pré-gelatinizados de mandioca citados.

Tabela 1. Formulação padrão dos pães de queijo.

| Ingredientes | Quantidades |
|---|---|
| Amido Nativo | 2,5kg |
| Amido modificado acetilado pré-gelatinizado | 375g |
| Óleo de soja | 900g |
| Margarina | 50g |
| Soro de leite em pó | 75g |
| Sal | 200g |
| Queijo parmesão desidratado | 50g |
| Ovo líquido pasteurizado | 1,0kg |
| Água | 2,3L |
| Queijo parmesão | 400g |

### 2.2 Processamento dos Pães de Queijo

Os pães de queijo foram produzidos em uma indústria local situada no município de Erechim, RS. O processamento tecnológico seguiu basicamente as etapas de: pesagem de matéria-prima, mistura dos ingredientes, obtenção da massa, extrusão, modelagem, congelamento e forneamento. Os pães de queijo foram assados em forno a gás modelo turbo gás V200 (Lieme, RS, Brasil) a 170ºC por 30 minutos com posterior acionamento da turbina por 4 minutos.

### 2.3 Caracterização das massas de Pães de Queijo

As massas de pão de queijo, foram caracterizadas quanto a cor, umidade, atividade de água, pH, acidez e viscosidade. A cor objetiva foi determinada em colorímetro *CR-400 Minolta Chromameter* (Minolta Cia Ltda.), no espaço CIE L*a*b*, onde L* = luminosidade, a* = intensidade da cor vermelha e b* = intensidade da cor amarela. A determinação da umidade foi por dessecação em estufa, segundo metodologia descrita pelo IAL (2005). A atividade de água foi realizada utilizando-se o aparelho marca Aw Sprint – Novasina TH-50. O pH foi determinado em potenciômetro digital, de acordo com metodologia descrita pelo IAL (2005).

A análise de acidez titulável foi determinada conforme metodologia descrita por Plata Oviedo and Camargo (1998), expresso como miliequivalente de base seca por cem gamas da amostra em base seca e a viscosidade utilizando um viscosímetro rotacional, (Marca Brookfield - PROGRAMMABLE DV-III + Rheometer), com um spindle SC4-25, onde os resultados da viscosidade foram expressos em centipoise (cP) sendo avaliada a relação entre viscosidade (cP) e tensão de cisalhamento ($s^{-1}$).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Cor objetiva

A cor dos alimentos é um item que está intimamente correlacionada a sua qualidade subjetiva, é uma importante ferramenta de avaliação física fornecendo diversas informações que vão desde o desenvolvimento de um produto, ao apelo visual, shelf-life, deterioração ou risco de contaminação do produto.

As média e desvio padrão para as coordenadas colorimétricas (L*, C* e H*) das massas de pão de queijo são apresentadas na Tab. 2.

Tabela 2. Médias* e desvio padrão para os valores de luminosidade (L*), Saturação (C*) e Tonalidade (ângulo hue (H*)) para as massas de pão de queijo.

| Tratamento | L* (luminosidade) | | *Chroma* (C*) | | Ângulo *hue* (H*) (tonalidade) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\overline{X}$ | $\sigma$ | $\overline{X}$ | $\sigma$ | $\overline{X}$ | $\sigma$ |
| M1 | 77,43 [d] | ±0,049 | 23,24 [d] | ±0,062 | 93,00 [a] | ±0,050 |
| M2 | 85,50 [a] | ±0,121 | 26,86 [b] | ±0,017 | 93,18 [a] | ±0,042 |
| M3 | 64,62 [e] | ±0,266 | 21,96 [e] | ±0,133 | 91,62 [c] | ±0,076 |
| M4 | 81,46 [b] | ±0,419 | 30,57 [a] | ±0,355 | 92,39 [b] | ±0,100 |
| M5 | 62,31 [f] | ±0,280 | 25,48 [c] | ±0,058 | 90,59 [d] | ±0,107 |
| M6 | 79,22 [c] | ±0,649 | 26,57 [b] | ±0,023 | 92,20 [b] | ±0,020 |

*Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

$\overline{X}$ : Média

$\sigma$ : Desvio padrão

A utilização dos diferentes amidos modificados e nativos interferiu significativamente ($p \leq 0,05$) no valor de luminosidade da massa, todas as amostras apresentaram diferenças quando comparadas entre si. Sabendo-se que quanto maior a luminosidade mais clara é a amostra, com base nos resultados expressos na Tab. 2 o tratamento com maior claridade foi M2 (85,50) e o menor valor de claridade foi encontrado para M5 (62,31).

Os tratamentos com AM2 resultaram em massas com maior claridade, enquanto que os tratamentos com AM3 apresentaram massas mais escuras, demonstrando que os amidos modificados têm influência significativa na claridade da massa formada.

Ao considerarmos os tratamentos associados com os amidos nativos, F1 teve maiores valores de claridade que F2 quando associados aos amidos modificados AM2 (M2, M4) e AM3 (M3, M5), enquanto que F2 apresentou maiores valores de claridade da massa na associação com AM1 quando comparado ao tratamento com o F2 (M6 e M1)

Andrade (2012) avaliando o uso de estabilizantes e amidos modificados em massas de pão de queijo congelado encontrando valores de 64,17 até 78,27 para a claridade dos pães de queijo congelados, onde o valor mais alto é referente ao tratamento empregando amido modificado pré-gelatinizado. Os valores deste autor são bastante próximos aos encontrados no atual estudo.

A utilização dos diferentes amidos modificados e nativos interferiu significativamente ($p \leq 0,05$) no valor de saturação da massa, todas as amostras apresentaram diferenças quando comparadas entre si. Chroma expressa a saturação e a intensidade de cor, valores pequenos de C* correspondem a um padrão de cor mais fraca e valores mais altos indicam padrão de cor mais forte.

A maior saturação (Tab. 2) foi encontrada para o tratamento M4 (30,57) e o menor valor para o tratamento M3 (21,96). As massas adicionadas de AM2 (M2 e M4) apresentaram os maiores valores de intensidade de cor, enquanto que as massas onde foi utilizado AM3 apresentaram os menores valores de C* na interação com os dois diferentes amidos nativos.

Os tratamentos com F1 (M1, M2 e M3) produziram massas com menor intensidade de cor que os tratamentos com F2 (M4, M5, M6) na associação com os 3 diferentes amidos modificados.

Neste contexto, tanto os amidos nativos quanto os modificados mostraram ter influência significativa para os valores de intensidade de cor.

Os valores de C* encontrados nestes estudos são valores intermediários, o que indica que a massa dos pães de queijo apresenta pouca intensidade de cor, o que segundo Andrade (2012) é esperado para produtos de cores claras, próximas ao branco, como é o caso do pão de queijo. Nagata (2011) encontrou valores médios de C* (saturação) entre 21,23 e 26,84, valores que são equivalentes ao do presente estudo.

A utilização dos diferentes amidos modificados e nativos interferiu significativamente ($p \leq 0,05$) no valor de tonalidade da massa. Todas as formulações apresentaram coloração tendendo a coloração amarela (angulo hue próximo a 90º) sendo esta a coloração característica para as massas do pão de queijo, fato que se deve principalmente a adição de queijo e ovo líquido pasteurizado as massas. O maior valor de H* (Tab. 2) foi encontrado para o tratamento M2 (93,18º), enquanto o menor valor encontrado foi para o tratamento M5 (90,59).

As massas adicionadas de AM2 (M2 e M4) apresentaram os maiores valores de H*, enquanto que as massas onde foi utilizado AM3 apresentaram os menores valores para o ângulo hue na interação com os dois diferentes amidos nativos. Os tratamentos com F1 (M1, M2 e M3) produziram massas com maiores valores de H* que os tratamentos com F2 (M4, M5, M6) na associação com os 3 diferentes amidos modificados, demonstrando que as massas elaboradas com o amido F1 tendem a ser mais amarelas que as elaboradas com F2, as quais tendem a ser amarelo esverdeadas. Desta forma, tanto os amidos nativos quanto os modificados mostraram ter influência significativa para os valores de intensidade de cor.

Enquanto que Nagata (2011) encontrou valores de H* (tonalidade) com médias entre 78,59º e 84,18º para a crosta de pães de queijo elaborados com diferentes pré-mistura comerciais. Os valores encontrados por este autor são menores que os encontrados agora, devido justamente ao fato do autor fazer uso de pré-misturas para a confecção dos pães de queijo, que obviamente não fazem uso de queijo in natura e ou ovo líquido as formulações. O que reforça a tese de que estes dois ingredientes são os principais responsáveis pela tonalidade amarela do pão de queijo, e sua ausência nas massas tendem a deixar o produto com coloração amarela esverdeada.

### 3.2 Atividade de água (Aw), Umidade, pH e Acidez

Na Tab. 3 são apresentados os resultados das análises de Aw, umidade, pH e acidez titulável para as massas de pão de queijo.

Tabela 3. Valores médios* e desvio padrão para a Aw, umidade, pH e acidez titulável das massas de pães de queijo.

| Tratamento | Parâmetros Físicos | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Aw | | Umidade (%) | | pH | | Acidez titulável (meq.100g$^{-1}$ b.s.) | |
| | $\overline{X}$ | $\sigma$ | $\overline{X}$ | $\sigma$ | $\overline{X}$ | $\sigma$ | $\overline{X}$ | $\sigma$ |
| M1 | 0,970 [a] | ±0,002 | 48,7 [a] | ±0,251 | 6,72 [a] | ±0,025 | 9,82 [a] | ±1,973 |
| M2 | 0,967 [a] | ±0,001 | 45,3 [a] | ±0,153 | 6,48 [b] | ±0,011 | 11,00 [a] | ±1,538 |
| M3 | 0,968 [a] | ±0,001 | 46,3 [a] | ±0,288 | 6,48 [b] | 0 | 11,69 [a] | ±2,798 |
| M4 | 0,969 [a] | ±0,002 | 44,0 [a] | ±0,200 | 6,51 [b] | ±0,096 | 11,11 [a] | ±3,884 |
| M5 | 0,968 [a] | ±0,000 | 44,0 [a] | ±0,200 | 6,52 [b] | ±0,034 | 9,86 [a] | ±2,242 |
| M6 | 0,961 [b] | ±0,000 | 44,0 [a] | ±0,360 | 6,50 [b] | ±0,050 | 8,61 [a] | ±2,072 |

*Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

X: Média

σ : Desvio padrão

Para os valores de atividade de água apenas o tratamento M6 apresentou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) quando comparado às demais amostras. Entretanto os valores de Aw dos seis tratamentos apresentaram valores bastante próximos, o maior valor encontrado foi para M1 (0,970) e o menor valor para M6 (0,961), ambos tiveram adição de AM1 na formulação (Tab. 3).

Muitos microrganismos desenvolvem-se mais rapidamente quando a atividade de água apresenta níveis no intervalo de 0,995 a 0,980, abaixo de 0,980 a taxa de crescimento e a população estacionária decrescem, estes valores de Aw permitem o crescimento de bactérias patogênicas e microrganismos deteriorantes, com exceção de halofílicos e xerofílicos extremos (Silliker *et al*., 1980).

Por se tratar de uma "massa líquida", com alto conteúdo de líquidos, os altos valores de Aw apresentados (Tab. 3) já eram esperados, estes valores indicam alta susceptibilidade do produto a contaminação microbiana. Fica evidente a necessidade de controle de possíveis pontos de contaminação e das temperaturas dos ingredientes e da massa do produto durante o processo produtivo, a fim de evitar a propagação de microrganismos patogênicos e deteriorantes. O emprego do processo de congelamento rápido logo após o processo de formação do produto é de extrema importância para impedir o crescimento microbiano no produto. Não fora encontrado na literatura analise de Aw para pães de queijo.

O teor de água é de grande importância na produção de alimentos, pois têm influência direta no controle da taxa de deterioração por microrganismos e reações enzimáticas e químicas que ocorrem durante a armazenagem (Fellows, 2006). A utilização dos diferentes amidos modificados e nativos não interferiu significativamente ($p< 0,05$) no valor de umidade da massa, nenhuma das amostras analisadas apresentaram diferenças quando comparadas entre si. O tratamento M1 (48,7%) foi o qual apresentou maior percentual de umidade, os menores valores foram encontrados para M1, M5 e M6 (44%), de acordo com os resultados (Tab. 3) os tratamentos que levam F1 tendem a ter maior teor de umidade que os tratamentos com F2.

Andrade (2012) encontrou valores de 39,56 e 39,80 para massas de pão de queijo adicionadas de amido modificado pré-gelatinizado na ordem de 5 e 10% respectivamente, valores inferiores ao encontrados no estudo, levando-se em conta que a adição de amido modificado pré-gelatinizado neste estudo foi na ordem de 5,02% sobre o total dos ingredientes. Pereira *et al*. (2005) ao analisarem pães de queijo provenientes de três marcas comerciais do produto congelado encontraram um valor médio de 31,23%. Entretanto Pereira (2001) encontrou valores variando entre 22,94% a 25,49% para a massa do pão de queijo não congelada. Machado e Pereira (2010) em estudo sobre o efeito do escaldamento nas propriedades tecnológicas e reológicas da massa e do pão de queijo encontraram valores de umidade entre 37,09 e 38,78%, atribuindo os maiores teores de umidade as massas com maior adição de água a formulação.

Os resultados para o teor de umidade encontrados neste estudo apresentam valores maiores que os apresentados pela literatura, atribuído ao fato do produto deste estudo ser produzido industrialmente, o que configura uma necessidade de maior adição de água a massa, para que o produto seja devidamente formado no processo de extrusão.

Em estudo realizado por Silva *et al*. (1998) foi verificado que o índice de expansão é altamente dependente da velocidade de gelatinização do amido, o qual está diretamente correlacionada com a quantidade de água disponível. Por conseguinte, podemos considerar que o tratamento M1 tem probabilidade de apresentar maior expansão no forno que os demais, e ainda, que os tratamentos com F1 tendem a apresentar maior expansão do que os com F2.

Para os valores de pH apenas o tratamento M1 demonstrou efeito significativo ($p\leq0,05$) quando comparado às demais amostras. As 6 amostras (Tab. 3) apresentaram pH próximo a neutralidade, o maior valor foi encontrado para o tratamento M1(6,72) e o menor valor para os tratamentos M2 e M3 (6,48).

Não se configurou um aumento ou redução do teor de pH associado ao uso de um ou outro tipo de amido nativo ou modificado pré-gelatinizado, e desta forma não fica evidente o efeito dos amidos sobre o pH da massa.

Em seu estudo sobre o uso de amidos modificados e estabilizantes em massas de pão de queijo de massa congelada Andrade (2012) encontrou valores de pH de 5,53 e 5,71 para pães de queijo adicionados de amido modificado pré-gelatinizado na ordem 5 e 10% sobre a formulação padrão respectivamente. Os valores do presente estudo são superiores aos encontrados por este autor, acredita-se que o fato se deve a maior adição de água à massa do pão de queijo, ingrediente que desloca o pH para valores próximos a neutralidade.

O que se conclui ao analisar o pH da massa do pão de queijo é que o uso de polvilho azedo ou de amidos modificados por via ácida tendem a deslocar o pH do produto para "baixo" (mais próximos da acidez), analogamente a maior adição de amido nativo de mandioca e de água a formulação favorecem o deslocamento do pH para valores mais próximos a neutralidade.

A utilização dos diferentes amidos modificados e nativos não apresentou efeito significativo ($p< 0,05$) no valor de acidez titulável da massa. Segundo os resultados obtidos pela análise de acidez (Tab. 3) para as massas de pão de queijo podemos observar que o menor valor encontrado foi para o tratamento M6 (8,61meq. $100g^{-1}$b.s) e o maior valor para M3 (11,69meq. $100g^{-1}$b.s.). Pode-se concluir que os tratamentos empregando AM1 (M1 e M6) apresentaram os menores valores de acidez quando combinados com os dois amidos nativos.

Ficou evidente uma tendência à redução da acidez para as massas confeccionadas com F2 quando comparadas as massas elaboradas com F1, na associação com AM1 e AM3 (M1 e M3) e (M5 e M6), para AM2 houve pequeno aumento no teor de acidez (M2 e M4).

Os valores encontrados neste trabalho, apesar de maiores, são próximos aos determinados por Silva (2005), onde os pães de queijo demonstraram valores de 8,0 meq.$100g^{-1}$b.s para acidez, e também remetem aos resultados de Pereira (2001) onde os valores de acidez titulável encontrados para as massas de pão de queijo não congeladas oscilaram entre 4,96 a 10,13 meq.$100g^{-1}$b.s.

A presença de queijo parmesão na formulação, que possui ácido sórbico como conservante pode ter contribuído para elevar os índices de acidez titulável para os pães de queijo deste estudo. Pimentel et al (2002) ao analisar amostras de queijo ralado constataram o uso excessivo de ácido sórbico em 56% das amostras analisadas. Neste estudo fora adicionado queijo parmesão desidratado as formulações, produto onde se admite conter grande quantidade de conservantes pelo fato do produto ter vida útil de seis meses após a fabricação sem necessidade de refrigeração, o que provavelmente fez os valores de acidez titulável ser maiores em relação aos dados encontrados na literatura, onde comumente é feito o uso de queijo parmesão "tradicional" e queijo minas frescal e curado.

### 3.3 Viscosidade

Na Fig. 1 são apresentados os resultados das análises de viscosidade das 6 diferentes formulações do estudo.

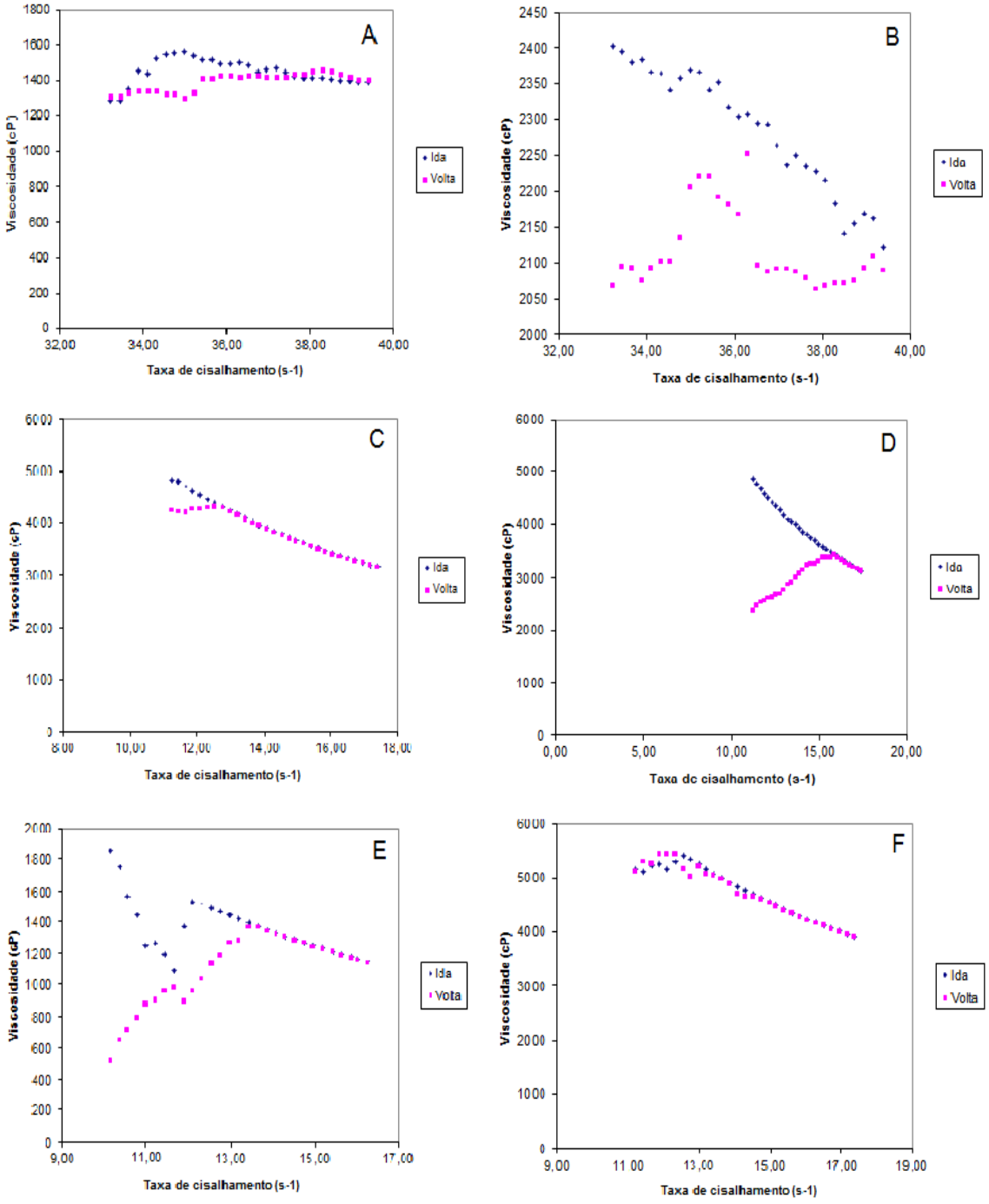



Figura 1. Gráficos obtidos pela análise de viscosidade, apresentando a relação viscosidade (cP) e taxa de cisalhamento (s-1), dos tratamentos M1(A), M2(B), M3 (C), M4(D), M5(E), M6(F)

Avaliando os gráficos obtidos pela análise de viscosidade das massas de pães de queijo, pode ser evidenciado que os tratamentos M1 e M6, que possuem AM1, apresentam maior estabilidade com o aumento da taxa de cisalhamento, estas duas massas também demonstraram ser menos influenciadas pelo torque, pois apresentam comportamento similar na leitura dos valores na ida e na volta, onde é mantida a rotação do spindle do equipamento na amostra, por estes motivos estes tratamentos podem ser considerados ideais para serem utilizadas industrialmente por serem mais estáveis, e desta forma mesmo se passarem do tempo ideal de mistura sua viscosidade é pouco alterada. Em geral o aumento da taxa de cisalhamento fez diminuir a viscosidade das massas.

A massa M2 se mostrou altamente influenciável pelo torque, o que leva a crer que leves alterações nos tempos de mistura tornam as massas mais moles e menos estáveis. O tratamento M1 apresenta os menores valores de viscosidade (pico de 1614cP) entre as amostras analisadas, enquanto que M6 exibe o maior valor de viscosidade (pico de 5530cP).

A viscosidade mede a resistência de um fluido escoar, na produção industrial de pães de queijo este parâmetro da massa é importante entre outros aspectos para o processo de formação do produto, já que se a massa for muito fluida o produto ficara descaracterizado, com formato baixo e largo, parecendo achatado, entretanto a massa pouco viscosa é sinal de uma massa mal homogeneizada o que irá gerar produtos mais secos.

Massas mais viscosas normalmente tendem a apresentar maior expansão quando colocadas no forno, devido a que a massa, por ser mais viscosa, apresenta a tendência de evitar a saída de vapor de água do interior do produto e toda a pressão interna gerada se reverte em aumento do volume do pão de queijo, entretanto se a massa for extremamente viscosa o produto ficará pesado e com miolo com aspecto de cru devido à pouca expansão.

Pode ser evidenciada a forte influência dos amidos nativos e modificados na viscosidade das massas, o perfil de viscosidade de todas as massas é diferente mesmo para massas que fazem uso dos mesmos amidos nativos e modificados, não sendo identificado um padrão de comportamento.

## 4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CNPq, CAPES, FAPERGS, Zin Pão Indústria, Embrapa Instrumental São Carlos/SP, IFRS Bento Gonçalves e URI pelo apoio financeiro.

## 5. REFERÊNCIAS

APEX-BRASIL, 2018. “Pão de queijo luta para conquistar estrangeiro”. 1 Out. 2019 < https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/04/pao-de-queijo-luta-para-conquistar-estrangeiro.shtml >.

ACELBRA, 2004. “Associação de Celíacos do Brasil”. 1 Out. 2019 <http://www.acelbra.org.br>.

Andrade, L.P., 2012. “*Amidos modificados e estabilizantes na qualidade do pão de queijo de massa congelada durante o armazenamento*”. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Aplevicz, K.S. and Demiate, I.M., 2007. “Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol.27, p.478-484.

Bello-Pérez, L.A.; Montealvo, M.G.M. and Acevedo, E.A., 2006. “Almidón:definición, estructura y propriedas”. In: Lajolo, F.M. and Menezes, E.W.,2006. “*Carbohidratos em alimentos regionales iberoamericano*”. São Paulo: Edusp, p. 17-46.

Fellows, P.J., 2006. “*Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e prática*”. Artmed.

Food Magazine, 2015. “Pão de queijo, o quitute brasileiro é o mais vendido nas cafeterias, lanchonetes e padarias do Brasil”. 11 Out. 2016 <http://www.foodmagazine.com.br/food-service-noticia-produtos/pao-de-queijo >.

Machado, A.V. e Pereira, J., 2007. Avaliação do escaldamento nas propriedades microscópicas e de cristalinidade do polvilho azedo. *In: Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos - SLACA*, 2007. Campinas, Unicamp.

Nagata, C.L.P., 2011. “*Otimização de uma pré-mistura para pão de queijo*”. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Pereira, J., 2001. “*Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo*”. Tese (Dourado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Pereira, J.; Ciacco, C.F.; Vilela, E.R. and Pereira, R.G.F.A., 2004. “Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol.24, p. 494-500.

Pereira, J.; Silva, R.P.G.; Nery, F.C. and Vivela, E.R., 2005. “Comparação entre a composição química determinada e a declarada na embalagem de diferentes marcas de pão de queijo”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 29, p. 623-628.

Pimentel, E.F.; Dias, R.S.; Ribeiro-Cunha, M. and Glória, B.A., 2002. “Avaliação da rotulagem e da qualidade físico-química e microbiológica de queijo ralado”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 22, p.289-294.

Plata Oviedo, M.S.V. and Camargo, C.R.O., 1998. “Determinação de propriedades físico-químicas e funcionais de duas féculas fermentadas de mandioca (polvilho azedo)”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol.22, p. 631-640.

Silva, C.E.M.; Façanha, S.H.F. and Silva, M.G., 1998. "Efeito do teor de amilose, amilopectina e grau de gelatinização no crescimento do biscoito de amido de mandioca obtido por fermentação natural". *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 18, p. 60-62.

Silva, F.T., 2005. "*Queijo Mussarela*". Brasília: Embrapa Informação Técnica.

Silliker, J.H.; Clark, D.S.; Elliot, R.P. and Baird-Parker, A.C., 1980. "*Microbial ecology of foods*". Academic Press.

SUN, D. and YOO, B., 2015. "Effect of tapioca starch addition on rheological, thermal, and gelling properties of rice starch". *Food Science and Technology*, Vol. 64, p. 205-211.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ELABORAÇÃO DE IOGURTE GREGO DESNATADO COM ADIÇÃO DE BAGAÇO DE UVA

**Thais Feiden**
**Marina Andreia de Souza**
**Caroline Chies Polina**
**Jamile Zeni**
**Eunice Valduga**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), 99709-910, Erechim, RS, Brasil.
thais.feiden@hotmail.com
mariina.2010@hotmail.com
caroline.polina@hotmail.com
jamilezeni@uricer.edu.br;
veunice@uricer.edu.br

***Resumo.*** *O iogurte grego é um alimento popular consumido por todas as classes, possui características sensoriais agradáveis e propriedades nutricionais. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um iogurte grego desnatado com adição de coproduto do processamento de vinho. O processo do iogurte grego desnatado se deu de forma convencional, o qual posterior foi dessorado, adicionado de três diferentes concentrações de coproduto do processo do vinho (1%, 2% e 3% m/m) e na sequencia realizou-se a analise sensorial pelo método de aceitação geral e intenção de compra. Os resultados da avaliação sensorial foram submetidos ao teste de análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Verificou-se 76,33%, 74,11% e 73,73% para aceitação geral e 51%, 53% e 63,3% para intenção de compra das formulações com 1%, 2% e 3% de coproduto de vinho, respectivamente.*

***Palavras-chave:*** *Iogurte, bagaço da casca de uva, análise sensorial.*

## 1. INTRODUÇÃO

O iogurte, alimento que tem como matéria prima o leite, é obtido via fermentação láctica, mediante ação de *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, mostrando-se como produto de grande comercialização, devido suas características sensoriais. Possui vasta diversificação no mercado, em virtude de sua produção a partir do leite pasteurizado adicionado de cultura láctea e possibilidade de ser enriquecido com proteínas, vitaminas e minerais, isoladamente ou por meio do acréscimo de frutas na forma de pedaços, xaropes e geleias, dando assim sabor e aroma característicos ao produto final (Pereira et al., 2009; Braga et al., 2012; Quintino, 2012).

Diferentes tipos ou variedades de iogurte entraram no mercado em resposta a preferência do consumidor. Essa possibilidade abriu caminho para diferentes formulações e processos como a do iogurte grego (Ferreira, 2014). Alguns mais cremosos outros com maior concentração proteica e lipídica, o iogurte grego foi introduzido no mercado brasileiro como um alimento de nova segmentação de mercado no ramo de laticínios (Langsdorff, 2012).

Ele é um iogurte dessorado, e, portanto, concentrado em proteínas e gorduras, como principais características é mais firme e viscoso, sendo viável o seu consumo de colher. A firmeza do iogurte é um atributo importante na aceitação do produto pelo consumidor. No iogurte grego, a textura, principalmente no parâmetro de firmeza, é fundamental para consumo final (Costa et al., 2014).

Com isso, sabe-se que as cascas de frutas são uma ótima opção para a preferência do consumidor. Sendo, o reaproveitamento de partes não convencionais como das frutas que pode colaborar para a elaboração de novas formulações e matérias-primas, inclusive aqueles que já são bem aceitas pelos consumidores, transformando-os em opções de alimentos mais ricos nutricionalmente e saborosos.

A uva Isabel – *Vitis labrusca*, de origem americana, foi introduzida no Brasil pelos italianos no século XIX. É uma das espécies de uvas mais versáteis e utilizadas para o desenvolvimento de vinhos de diferentes qualidades, vinagres, sucos e matéria prima de diferentes tipos de doces e geleias. Apresenta ainda facilidade no seu cultivo e

resistência a diversos tipos de pragas (Peruzzo, 2014). O bagaço, subproduto gerado na fabricação de derivados desta uva, apresenta elevado teor de sais minerais, compostos fenólicos e antocianinas que podem variar de acordo com processos de cultivo, colheita e processamento/extração do suco (Souza, 2013). Segundo Melo et al. (2011) o resíduo totaliza cerca de 30% do volume de uvas utilizadas para a produção vinícola. O reaproveitamento deste bagaço é de suma importância para diferentes indústrias, por ser uma alternativa barata para extração de pigmentos naturais vermelhos (Leidens, 2011), por possuírem quantidades significativas de compostos bioativos (Souza, 2006) e por serem inócuos à saúde de crianças e adultos (Johann et al., 2014).
O objetivo deste trabalho foi adicionar subproduto do processamento com diferentes concentrações de vinho em iogurte grego desnatado e avaliar sensorialmente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Análise Sensorial da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim (URI).

Os matérias e ingredientes foram adquiridos no comercio local.

### 2.1 Obtenção do resíduo do bagaço de uva

O resíduo do bagaço de uva (Isabel – *Vitis labrusca*) foi obtido após aula prática de produção de vinho, na disciplina de Processos Tecnológicos I, no curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim (URI).

A partir do coproduto da produção de vinho – bagaço da uva realizou-se a secagem em estufa (Marconi® - MA 037) com circulação de ar a 60ºC por 24 h e determinou-se a umidade (Brasil, 2005). Para o controle da secagem da uva, foram analisadas amostras em intervalos de 4 h utilizando o analisador de umidade por infravermelho (Marte ID-200), até obtenção de umidade constante.

Para a adição do resíduo ao iogurte, triturou-se o bagaço, sem as sementes, para a diminuição da granulometria.

### 2.2 Obtenção da calda

Para a obtenção da calda, utilizou-se 100 gramas do bagaço de uva, triturado em processador industrial, água e 200 gramas de açúcar.

Inicialmente triturou-se o bagaço para a obtenção de uma granulometria mais fina. Em seguida, em um tacho aberto, adicionou-se o bagaço triturado, açúcar e água para hidratação e diluição do açúcar, após o cozimento, removeu-se o bagaço e a calda foi concentrada até engrossar.

### 2.3 Obtenção do iogurte grego

Para a produção do iogurte grego, inicialmente 10 litros de leite desnatado foram aquecidos a 60ºC, com a adição de 100g de açúcar e 150g de leite em pó, após a homogeneização, resfriou-se a 45ºC para a adição de 200g de cultura lática (iogurte natural).

A fermentação durou cerca de 4 – 6 h, até atingir pH 4,6 e após esse período a massa do iogurte foi resfriada a aproximadamente 10ºC, para evitar choque térmico e a ruptura da massa. Em seguida foi realizado o dessoramento, para a obtenção do iogurte grego. Após a obtenção do iogurte grego adicionou-se três diferentes concentrações do resíduo do bagaço de uva (1, 2 e 3 % m/m), as quais correspondem as formulações A, B e C, respectivamente. Na formulação A adicionou-se 12,5 gramas de bagaço, 1% do peso do iogurte, na formulação B adicionou-se 25 gramas, 2%, e na formulação C adicionou-se 37,5 gramas, 3% de bagaço em relação ao peso do iogurte.

### 2.4 Análise sensorial

Para a realização da análise sensorial, participaram 30 provadores não treinados, consumidores do produto, funcionários, professores e alunos da URI Erechim, na faixa etária entre 17 e 50 anos.

As três amostras foram distribuídas (em copinhos, com 25 gramas, com posterior adição da calda na superfície do iogurte), de forma balanceada, codificadas com números aleatórios de três dígitos, juntamente com um questionário de consentimento livre de analise sensorial e a ficha da avaliação sensorial (teste de perfil de características e intenção de compra). Os avaliadores atribuíram notas para a cor, sabor, textura e aceitação geral das três formulações de iogurte grego através da escala hedônica de 9 pontos, onde o valor 1 representava “desgostei muitíssimo” e o valor 9 “gostei muitíssimo”. A intenção de compra dos provadores sobre cada uma das formulações foi avaliada através da escala de 5 pontos, onde 1 representa “certamente não compraria” e 5 “certamente não compraria”. (Instituto Adolfo Lutz, 2005).

Entre uma amostra e outra, foi orientado aos provadores o consumo da amostra branco, sendo est água mineral a 20ºC ou biscoito água e sal.

### 2.5 Análise Estatística

Os dados foram tratados estatisticamente através de análise de variância (ANOVA) e teste de *Tukey*, com nível de significância de 5%, utilizando SASM – Agri Sistema para Análise e Separação de Médias, versão 4.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Secagem do bagaço de uva

A Figura 1 apresenta a curva de secagem do bagaço de uva, onde pode-se observar que a umidade vai diminuindo com o passar do tempo (até 24 h). No tempo 0h, início da secagem, o bagaço apresentava aproximadamente 70% de umidade e após 24 h, o bagaço apresentou umidade em torno de 0%.

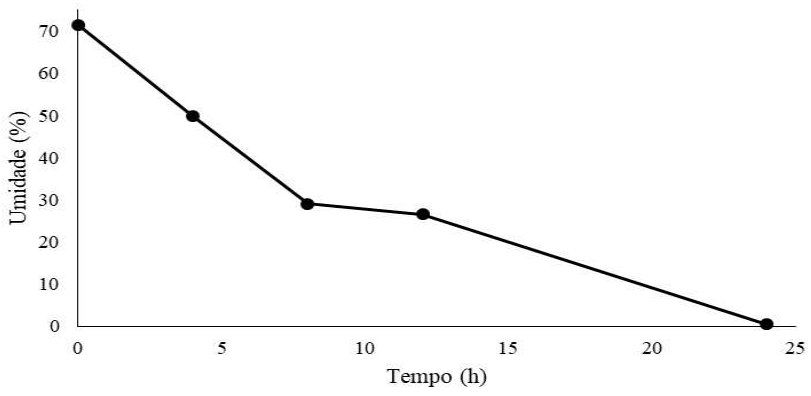



Figura 1. Curva de secagem do bagaço do resíduo de uva.

### 3.2 Análise Sensorial do iogurte

A Tabela 1 apresenta o perfil de característica do iogurte grego, em termos de aparência, sabor, textura e aceitação geral.

Tabela 1. Resultados médios (n=30) da aceitação sensorial dos iogurtes gregos desnatados com diferentes concentrações de subproduto de vinho

| Amostras | Aparência | Sabor | Textura | Aceitação Geral |
|---|---|---|---|---|
| **Formulação A** | 7,20[a] | 7,10[a] | 6,43[a] | 6,87[a] |
| **Formulação B** | 7,20[a] | 6,73[a] | 6,17[a] | 6,67[a] |
| **Formulação C** | 6,90[b] | 6,60[a] | 6,10[a] | 6,60[a] |

*****Média seguida de letras iguais/colunas indicam não haver diferenças significativas à nível de 5% (Teste de *Tukey*).

Para aparência, as formulações A e B não diferem ($p<0,05$) estatisticamente, sendo que a C é que pior aparência. Essa tendência pode ser explicada pelo fato do iogurte grego desnatado, pode ser mais apreciado quando apresenta cor branca, e a amostra C possuía maior concentração do bagaço de uva (3%).

Nos resultados dos atributos sensoriais sabor, não diferiu estatisticamente ($p<0,05$) indicando ser possível a adição de até 3% de bagaço de uva diferindo significativamente à nível de 5.

A concentração de bagaço de uva presente maior a aceitação geral, isso poderia ter sido diminuído se os pedaços de casca de uva tivessem sido hidratados no dia anterior a adição no iogurte, pois os mesmos foram adicionados no mesmo instante da análise sensorial. Porém, à medida que aumenta-se a concentração de bagaço de uva há uma diminuição na aceitabilidade (Índice de aceitação)

Na Figura 2, em que as médias de intensidade para cada termo descritor são dispostas em eixos distintos. O ponto zero da escala é representado no centro da figura, e a intensidade dos atributos aumenta do centro para a periferia. O

perfil sensorial é revelado ao se fazerem ligações entre os pontos. Pode-se perceber que o iogurte grego desnatado (amostra B) se destaca com maiores notas para aparência, sabor e aceitação geral enquanto a formulação A apresenta valores superiores para a textura, a formulação C fica com as menores médias em todos os atributos.

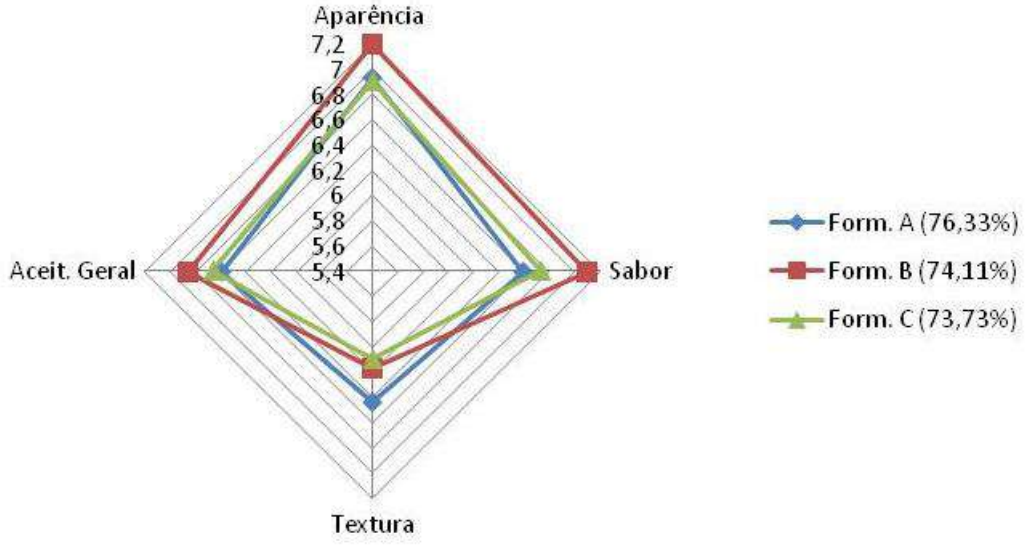



Figura 2. Perfil sensorial dos grupos experimentais de iogurte grego desnatado adicionado do subproduto da produção do vinho.

A Figura 3 ilustra a distribuição das pontuações médias para a intenção de compra do iogurte grego, onde 36,6 e 26,7% dos julgadores atribuíram nota 4 (possivelmente compraria) para a Formulação A e Formulação B, respectivamente. Entretanto, 26,7% dos julgadores atribuíram nota 5 (compraria) para a Formulação B.

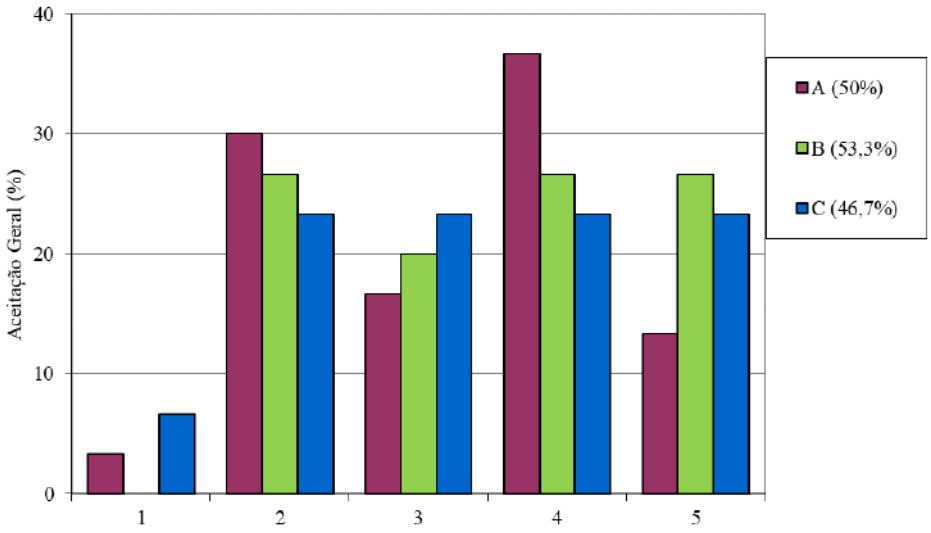



Figura 3. Histograma de frequência de aspectos médios para a aceitação global.

A partir deste cenário é possível traçar um perfil do consumidor de iogurtes gregos desnatados. Um produto com menor concentração de pedaços de casca de uva, pode possuir rejeição à aquisição do produto (marca A). Em contrapartida, também houve uma objeção pela amostra (marca C) com relação a maior concentração de pedaços de casca de uva. A amostra B obteve os melhores resultados para a intenção de compra, ficando claro que um teor mediano de concentração de teor de bagaço da casca de uva (2%), se enquadram de maneira mais adequada no perfil de intenção de compra do produto estudado neste trabalho, isso pode ser desencadeado pelo fato dos consumidores estarem habituados com pedaços de frutas nos iogurtes.

No quesito intenção de compra, as amostras não diferiram estatisticamente, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados médios (n=30) para a intenção de compra das amostras de iogurte com diferentes concentrações de pedaços de casca de uva.

| Amostra | Pontuação Média* |
|---|---|
| **Formulação A** | 3,50[a] |
| **Formulação B** | 3,33[a] |
| **Formulação C** | 3,27[a] |

*****Média seguida de letras iguais/colunas indicam não haver diferenças significativas à nível de 5% (Teste de *Tukey*).

Os resultados obtidos para as amostras não diferiram estatisticamente, sendo classificadas na escala de "talvez comprasse, talvez não comprasse". Isso não significa necessariamente que os julgadores rejeitaram as amostras em relação a compra, mas que a adição do bagaço de uvas secas conferido pela adição do subproduto do vinho não seja cotidiano para as pessoas que participaram da análise sensorial.

## 4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que a adição de 2% do subproduto do processo de fabricação vinho ao iogurte grego desnatado apresentou aceitação sensorial por parte dos provadores e de intenção de compra, demonstrando assim a viabilidade da aplicação deste subproduto em alimentos, agregando valor aos mesmos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à URI Erechim pelo apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

Braga, A. C. C., Neto, E. F. A. e Vilhena, M. J. V., 2012. Elaboração e caracterização de iogurtes adicionados de polpa e de xarope de Mangostão. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 14, n. 1, p. 77-84.

Costa, M. F. et al., 2014. Desenvolvimento e caracterização de iogurte grego simbiótico sabor baunilha. In: *Semana da Química*, 35. Jornada da Pós-Graduação em Alimentos, 8, 2014, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

Fellows, P. J., 2006. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. 2.ed. Tradução Florência Cladera Oliveira, et al. Porto Alegre: *Artmed*, 602 p.

Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. São Paulo: IMESP, 2005. 1. ed. digital.

Johann, A. e Graff, T. B. A., 2014. Preferência e aceitação de gelatinas destinadas ao público infantil, fabricadas com corantes, artificiais, naturais e extratos vegetais. *Revista destaques acadêmicos*. v. 6, n. 3.

Langsdorff, J. 10 set 2012. Gregos tiram iogurtes da mesmice. *Jornal Meio & Mensagem*. 09 mar. 2019. <http:// www.foodandnews.com/2772-gregos-tiramiogurte-da-mesmice>.

Leidens, N., 2011. *Extração, purificação e fracionamento das antocianinas do bagaço de uva*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS. Porto Alegre.

Melo, P.S., Bergamaschi, K.B.; Tiveron, A.P., Massarioli, A.P., Oldoni, T.L.C., Zanus, M.C., Pereira, G.E. e Alencar, S.M., 2011. Composição fenólica e atividade antioxidante em resíduos agroindustriais. *Ciência Rural*, v. 41, n. 6.

Pereira, E. D. et al., 2009. *Caracterização de iogurte elaborado a partir de leite de cabra acrescido com polpa de uvaia* (Eugenia uvalha cambess). Bambuí.

Peruzzo, L.C., 2014. *Extração, purificação, identificação e encapsulação de compostos bioativos provenientes do resíduo do processamento da indústria vinícola.* Tese (Doutorado em Engenharia química) - Centro tecnológico. Programa de pós-graduação em Engenharia química, Universidade Federal de santa Catarina, Florianópolis

Quintino, S. S., 2012. Avaliação comparativa de iogurte produzido a partir da polpa natural de maracujá (Passiflora edulisSims f. flavicarpaDeg.) e suco artificial. *Revista Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 14, p. 1830- 1842.

Shrikhande, A.J., 2000. Wine-by products with health benefits. *Food Research International*, v. 33, p. 469-474.

Souza, E.C., out 2014. Incorporação e aceitabilidade da farinha de bagaço de uva em produtos de panificação. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindústria*, Paraná, v. 08, n. 02, p. 1-3.

Souza, J. C., 2006. *Análise da estabilidade de cor e micro dureza de uma resina composta extra clara foto ativada com diferentes fontes de luz.* Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná.

Souza, V. B., 2013. *Aproveitamento dos subprodutos de vinificação de uva Bordô (Vitis labrusca) para obtenção de pigmentos com propriedades funcionais*. Dissertação (Mestrado Ciências da Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# APLICAÇÃO DO TRATAMENTO ENZIMÁTICO NA CLARIFICAÇÃO DE SUCO DA AMORA CHEROKEE

**Thais Feiden**
**Marina Andreia de Souza**
**Thais Comin**
**Carolina Chies Polina**
**Sabrina Camargo**
**Carolina Elisa Demaman Oro**
**Eunice Valduga**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), 99709-910, Erechim, RS, Brasil.
thais.feiden@hotmail.com
mariina.2010@hotmail.com
th-thais@hotmail.com
carol.polina@hotmail.com
sabrinadcamargo@hotmail.com
CarolinaE.Oro@hotmail.com
veunice@uricer.edu.br

***Resumo.*** *O mercado de sucos de frutas tem crescido substancialmente nos últimos anos. A tendência para uma alimentação mais saudável e natural é a principal razão para este crescimento. Os consumidores não apenas pedem por produtos de alta qualidade, mas solicitam também sabores mais exóticos. A aceitação de sucos de frutas depende, no entanto, de sua aparência. O objetivo deste trabalho foi aplicar tratamento enzimático e avaliar as características físico-químicas do suco da amora cherokee, utilizando pectinases, Smash XXL e AMG nas concentrações de 0,1, 0,5 e 2%. Para verificação da eficiência de clarificação avaliou-se turbidez, índice de cor, teor de sólido totais, densidade e avaliou-se, também, pH, acidez e sólidos solúveis. Realizou-se análise estatística dos resultados obtidos visando verificar a influência das variáveis na clarificação do suco de amora-preta. Os sucos apresentaram sólidos solúveis que variaram entre 5,07 a 5,38ºBrix, a acidez titulável variando entre 0,50 e 0,52% em ácido málico e o pH entre 3,36 e 3,60, a densidade variou de 1,05 a 1,14, as mesmas não variaram significativamente a nível de 5%. Quanto à cor os sucos tratados enzimaticamente apresentaram maior tendência ao vermelho e menor intensidade que a amostra controle. Houve uma redução de 83,17% na turbidez; o valor obtido para a viscosidade foi 3,28 cP e 15,68 para sólidos totais quando empregou-se a concentração de 0,1% da enzima Pectinex Smash XXL. As enzimas utilizadas tiveram bom desenvolvimento quanto à clarificação enzimática.*

***Palavras-chave:*** *Suco clarificado; Tratamento enzimático; Amora Cherokee; Enzima.*

## 1. INTRODUÇÃO

A amoreira-preta (*Rubus* sp.) tem ganhado destaque na agricultura pelo baixo custo de produção, facilidade de manejo e pouca utilização de defensivos agrícolas. Porém ainda são poucos os estudos relacionados a essa fruta. A legislação brasileira não possui Padrões de Identidade e Qualidade para o suco de amora.

Define-se suco ou sumo como a bebida não fermentada, não concentrada e não diluída, destinada ao consumo, obtida da fruta madura e sã, ou de parte do vegetal de origem, através de processamento tecnológico adequado. O produto deve ser submetido a tratamento para sua apresentação e conservação até o momento do consumo; não deve conter substâncias estranhas à fruta ou a partes do vegetal de origem, sendo também proibida a adição de aromas e corantes artificiais. É permitida a adição de açucares (máximo de 10%) e dióxido de carbono, utilizando-se o termo adoçado e gaseificado, respectivamente (Brasil, 2009).

A amora do gênero Morus é a mais estudada devido aos seus compostos fenólicos. Também se destacam os pigmentos naturais, antocianinas e os carotenoides. Esses compostos tornam a fruta rica em antioxidantes (Pimenta, Zambrano, Venturini, 2013).

A amora preta é considera uma fruta funcional, com muitos benefícios para a saúde. O suco da fruta é bastante nutritivo, além de combater envelhecimento precoce, contém várias vitaminas entre elas a vitamina C e vitaminas A, E,

D e K que fortalecem o sistema imunológico, também possui vitaminas do completo B que aumentam a produção de colágeno. Amoras são recomendadas para o fortalecimento dos rins e limpeza do fígado, controla o açúcar no sangue, mantém a saúde do coração entre outros (Vizzotto, 2008).

O presente trabalho teve por objetivo produzir o suco de Amora preta da variedade Cherokee obtida na Embrapa de Pelotas e realizar tratamento enzimático de clarificação, avaliando características físico-químicas como pH, acidez, sólidos totais, e sólidos solúveis (ºBrix), viscosidade, intensidade de cor e índices de cor, turbidez e índice de clarificação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Preparo das amostras

Como matéria prima para obtenção do suco foi utilizada amora, da variedade Cherokee, proveniente da Embrapa Pelotas, sendo considerada variedade sem espinhos. As amostras foram recebidas na Usina piloto de Frutas e Hortaliças da URI – Erechim, foram lavadas e selecionadas. Posteriormente, realizou-se a operação de despolpamento, esta foi efetuada em uma despolpadeira horizontal com peneira de 0,1mm (TORTUGAN MOD. 1.1).

### 2.2 Tratamento Enzimático

No tratamento de clarificação de suco empregaram-se a enzima AMG 300L, com atividade de 1,52 μmol/mL.min e a enzima Pectinex Smash XXL, com atividade de 0,47 μmol/mL.min. Utilizou-se 200mL de suco com adição das enzimas para a clarificação: Amostra 1 – suco in natura, não foi clarificada; Amostra 2 – 0,1% da enzima AMG 300L; Amostra 3 – 0,5% de AMG 300L; Amostra 4 – 0,1 % da enzima Pectinex Smash XXL; Amostra 5 – 0,5% de Pectinex Smash XXL; Amostra 6 – 2% de AMG 300L e Amostra 7 – 2% de Pectinex Smash XXL. O tratamento enzimático foi realizado à 50°C (temperatura ótima de reação destas enzimas) durante 60 min, sob agitação constante de 100 rpm.

Posteriormente, realizou-se a inativação enzimática em banho-maria com temperatura de 95ºC durante 5 min, sendo resfriadas em banho de gelo, a fim de interromper a reação. Após, o tratamento e inativação enzimática as amostras foram centrifugadas (Elettrofor MPW 351R) a 3000 rpm por 10 min e filtradas em papel filtro (Whatmam n°1) para as determinações analíticas. Para o controle de reação (reação em branco), o extrato enzimático foi substituído com água destilada.

### 2.3 Avaliação das características físico-químicas do suco

No suco com tratamento e sem tratamento enzimático (controle) foram avaliadas as seguintes características físico-químicas: pH, acidez, sólidos totais, e sólidos solúveis totais (ºBrix), viscosidade, intensidade de cor e índices de cor e turbidez.

O pH foi determinado por potenciometria (IAL, 2005). Os sólidos solúveis totais (ºBrix) foram determinados por refratômetro Abbe conforme metodologias descritas por IAL (2005). A viscosidade foi quantificada em viscosímetro “Falling Ball” (Valle e Vasconcellos, 1997).

Para avaliação da acidez total transferiu-se 20 mL da amostra para um erlenmeyer de 250 mL, juntamente com 100 mL de água destilada e gotas de fenolftaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 N e com auxílio de potenciômetro até pH 8,2. A acidez total foi expressa em g de ácido cítrico/100 mL (Equação 1)

$$Acidez\ total\ (g\ de\ ácido\ cítrico/100\ mL) = \frac{A.0{,}6402}{V} \quad (1)$$

Onde: A = mL de NaOH 0,1 N gastos na titulação; V = volume de amostra

Para a quantificação dos sólidos totais empregou-se cápsula de porcelana de fundo chato (8 a 10 cm de diâmetro), com cerca de 20 g de areia fina previamente lavada e calcinada, juntamente com um bastão de vidro (pequeno), dessecada em estufa a 105ºC durante duas horas. Posteriormente, transferiu-se 20 mL da amostra para a cápsula e evaporou-se em banho-maria e dessecou-se em estufa a 105ºC por 3 h (até peso constante). Os sólidos totais foram expressos em g/100 mL (Equação 2):

$$Sólidos\ totais\ (g/100\ mL) = \frac{A.100}{V} \quad (2)$$

Onde: A = peso do resíduo; V = mL de amostra

A clarificação do suco foi determinada com base na intensidade de cor (IC), as leituras das absorbâncias foram realizadas nos comprimentos de onda 440 nm e 520 nm, com percurso óptico de 1 mm, contra água, em espectrofotômetro (BeckmanCoutler, modelo DU640), sendo a primeira correspondente à cor amarela, resultante da oxidação dos polifenóis, e a segunda à cor vermelha resultante dos pigmentos antocianínicos da fruta (Tanner e Brunner, 1985). A intensidade de cor (IC) foi expressa com base na soma das absorbâncias das 420 nm, 520 e 620 nm de acordo com aEquação 3.420, 520 e 620nm

$$IC = A_{420} + A_{520} + A_{620} \quad (3)$$

A cor, também, foi medida pela intensidade de cor pela leitura em colorímetro no sistema Hunter (L*, a*, e b*).

A clarificação foi expressa em % de clarificação, calculada com base na intensidade de cor do suco controle e do suco tratado, de acordo com a Equação 4.

$$Clarificação\ (\%) = \frac{IC\ do\ suco\ controle - IC\ do\ suco\ tratado \times 100}{IC\ do\ suco\ controle} \quad (4)$$

A redução da turbidez no suco foi calculada com base na absorbância, medida no comprimento de onda de 540 nm, com percurso óptico de 1 mm, contra água, em espectrofotômetro (BeckmanCoutler, modelo DU640) conforme metodologia descrita por Chatterjeeet al. (2004). A redução da turbidez foi expressa em % de redução de turbidez, calculada com base na absorbância (Abs) do suco controle e do suco tratado, de acordo com a equação 5.

$$Redução\ Turbidez(\%) = \frac{Abs\ do\ suco\ controle - Abs\ do\ suco\ tratado \times 100}{Abs\ do\ suco\ controle} \quad (5)$$

### 2.4 Análise estatística

Os dados foram tratados estatisticamente através de análise de variância (ANOVA) e teste de *Tukey*, com nível de significância de 5%, utilizando SASM – Agri Sistema para Análise e Separação de Médias, versão 4

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos da polpa bruta e tratada enzimaticamente e seus desvios padrão estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análises físico-químicas do suco de amora Cherokee in natura e tratado enzimaticamente

| Parâmetro | In natura | Amostra 2 | Amostra 3 | Amostra 4 | Amostra 5 | Amostra 6 | Amostra 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **pH** | $3,56^{a} \pm 0,06$ | $3,58^{a} \pm 0,19$ | $3,58^{a} \pm 0,1$ | $3,59^{a} \pm 0,19$ | $3,53^{a} \pm 0,23$ | $3,60^{a} \pm 0,1$ | $3,55^{a} \pm 0,2$ |
| **Sólidos Solúveis (°Brix)** | $5,38^{a} \pm 0,04$ | $5,07^{a} \pm 0,03$ | $5,13^{a} \pm 0,11$ | $5,13^{a} \pm 0,07$ | $5,13^{a} \pm 0,08$ | $5,13^{a} \pm 0,12$ | $5,10^{a} \pm 0,02$ |
| **Acidez Total (Ác.Málico, %)** | $0,52^{a} \pm 0,02$ | $0,52^{a} \pm 0,01$ | $0,52^{a} \pm 0,03$ | $0,51^{a} \pm 0,01$ | $0,51^{a} \pm 0,04$ | $0,51^{a} \pm 0,01$ | $0,50^{a} \pm 0,01$ |
| **Redução da Turbidez (%)** | - | $80,35^{d} \pm 0,02$ | $80,34^{d} \pm 0,01$ | $83,17^{a} \pm 0,02$ | $78,67^{e} \pm 0,02$ | $82,22^{b} \pm 0,01$ | $81,78^{c} \pm 0,02$ |
| **Viscosidade (cP)** | $14,53^{a} \pm 0,16$ | $7,36^{b} \pm 0,20$ | $6,09^{c} \pm 0,20$ | $3,28^{e} \pm 0,10$ | $3,36^{e} \pm 0,23$ | $5,05^{d} \pm 0,19$ | $3,39^{e} \pm 0,07$ |
| **Densidade (g/ml)** | $1,13^{a} \pm 0,03$ | $1,13^{a} \pm 0,04$ | $1,12^{a} \pm 0,04$ | $1,07^{a} \pm 0,02$ | $1,14^{a} \pm 0,04$ | $1,05^{a} \pm 0,03$ | $1,13^{a} \pm 0,03$ |
| **Índice de Cor** | $5,45^{a} \pm 0,05$ | $0,90^{c} \pm 0,01$ | $0,92^{c} \pm 0,03$ | $0,73^{f} \pm 0,03$ | $0,97^{b} \pm 0,02$ | $0,82^{d} \pm 0,01$ | $0,79^{e} \pm 0,01$ |
| **Sólidos Totais (%)** | $15,68^{ab} \pm 0,06$ | $15,66^{ab} \pm 0,07$ | $15,75^{a} \pm 0,19$ | $15,68^{ab} \pm 0,12$ | $15,44^{c} \pm 0,1$ | $15,60^{b} \pm 0,14$ | $14,87^{d} \pm 0,09$ |
| **Clarificação (%)** | - | $83,44^{d} \pm 0,02$ | $83,01^{e} \pm 0,01$ | $86,58^{a} \pm 0,01$ | $82,48^{f} \pm 0,01$ | $84,91^{c} \pm 0,01$ | $85,35^{b} \pm 0,01$ |

*Médias seguidas de letras distintas, pela horizontal, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a nível de 5%.

Os valores de pH da amora-preta ficaram na faixa de 3,36 para a amostra *in natura*, e entre 3,53 e 3,60 para as tratadas enzimaticamente, não havendo diferença significativa entre as amostras (Tabela 1). Os valores de pH encontrados no presente estudo após a adição das enzimas são um pouco superiores aos relatados para a cultivar, mas independente da clarificação, o suco de amora-preta apresentou valores de pH baixos, conforme esperado, correspondendo as suas características naturais de sabor ácido a doce ácido. Esta é uma característica desejável a industrialização e garante sabor e odor ao produto (Cecchi, 2003).

Com relação ao teor de sólidos solúveis da amora-preta, Kerr (1990) citado por Rommel et al (1992), propõe o valor padrão de 10ºBrix para sucos de amora. A Instrução Normativa Nº 37, de 1º de Outubro de 2018 estabelece o valor de 7,5 para sólidos solúveis em °Brix, a 20°C (Brasil, 2018). Neste trabalho o valor de Sólidos Solúveis das amostras, que é um indicativo do teor de açúcares, variou entre 5,38 (in natura) e 5,07 a 5,13ºBrix. Sendo que uma menor quantidade de açúcar pode diminuir a qualidade do suco (Chiarotti et al.,2014), não houve diferença significativa em nível de 5% da amostra in natura em relação as tratadas enzimaticamente. O teor de sólidos solúveis tende a aumentar no decorrer da maturação, servindo também como referência para prever o teor de açúcares presente no fruto, e outras substâncias dissolvidas como vitaminas, pectinas e ácidos orgânicos (Pinheiro, 2014). Nas frutas e seus

derivados os sólidos solúveis são responsáveis pelo sabor e consequentemente pela aceitação pelos consumidores (Embrapa, 2007).

Com relação aos valores de acidez total estes estão na faixa de 0,50 a 0,52% (v/v), não apresentando diferença estatisticamente significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos com e sem enzima. Nelson & Tressler (1980) determinaram acidez média de 0,92% e Sapers et al. (1985), acidez entre 0,6 a 1,1% (v/v), para sucos de amora-preta, portanto, mais altos que os obtidos neste trabalho.

Observou-se uma redução da turbidez nas amostra 4 e amostra 6, sucessivamente com 0,5 e 2% da enzima Smash XXL. Quanto a clarificação, a amostra 4 com 0,5% de enzima (Smash XXL), apresentou o maior valor 86,57%, contra o menor da amostra 5 com 2% de enzima AMG. Estes resultados mostram que o tratamento enzimático é eficaz para a redução da turbidez e a clarificação do suco de amora, onde a amostra com 0,5% da enzima Smash XXL apresentou os melhores resultados. O principal objetivo da clarificação é eliminar sólidos insolúveis e destruir substâncias pécticas, pela degradação da pectina e do amido com enzimas específicas e agentes clarificantes (Vaillant et al., 2005). Devido às propriedades geleificantes, as pectinas são responsáveis pela alta viscosidade e turbidez dos sucos de frutas (Willats et al., 2006).

A viscosidade diminuiu com a redução da quantidade de polpa da fruta. A amostra 4 e a amostra 5 apresentaram os menores valores, com 0,1% e 0,5%, da enzima Smash XXL, respectivamente. Segundo Lago et al. (2011), a concentração de sólidos solúveis afeta claramente a viscosidade, pois com o aumento da concentração, a quantidade de água presente no meio será menor. A densidade não apresentou diferença significativa a nível de 5%, variando de 1,05% a 1,14%.

Verificou-se uma diminuição do índice de cor entre as amostras em comparação com o suco in natura. As amostras 4 e 7, com 0,1% e 2% da enzima Smash XXL apresentaram os menores valores, de 0,73 e 0,79, respectivamente. Essa redução da cor pode ser a ação da diminuição das antocianinas presentes no suco das amoras-pretas. Para Markakis (1982) e Skrede et al. (1992) as perdas destes compostos presentes na fruta, são resultantes de várias etapas do processamento, seja na extração, onde as perdas são inevitáveis, seja na ação de agentes químicos e físicos, que agem na degradação desses compostos.

Os valores de sólidos totais variaram de 14,87 a 15,75%, diferindo estatisticamente a nível de 5%. As amostras 6 e 7 apresentaram os menores valores, com 0,5% e 2%, da enzima Smash XXL, respectivamente, indicando a eficiência do tratamento enzimático. No entanto, o tratamento não foi muito eficiente na amostra 3, tratada com 0,5% da enzima AMG 300L, apresentando o valor de 15,75% de sólidos totais, maior que valor encontrado na amostra in natura, 15,68%.

Comparados os tratamentos com e sem enzima, a cultivar cherokee não apresentou diferença significativa nos parâmetros: pH, sólidos solúveis, acidez total e densidade demonstrando pouca ou nenhuma influência da enzima, o que não ocorreu com as demais.

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos da polpa bruta e tratada enzimaticamente estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de cor das amostras de amora-preta (cherokee)

| Amostras de Amora | L* | a* | b* |
|---|---|---|---|
| **In natura** | $15,69^{g} \pm 0,06$ | $9,06^{e} \pm 0,05$ | $5,45^{e} \pm 0,07$ |
| **Amostra 2** | $28,72^{b} \pm 0,04$ | $25,23^{d} \pm 0,02$ | $18,22^{c} \pm 0,04$ |
| **Amostra 3** | $23,97^{e} \pm 0,07$ | $25,47^{c} \pm 0,09$ | $17,21^{d} \pm 0,12$ |
| **Amostra 4** | $26,81^{c} \pm 0,06$ | $27,64^{a} \pm 0,05$ | $20,26^{a} \pm 0,06$ |
| **Amostra 5** | $23,62^{f} \pm 0,10$ | $25,20^{d} \pm 0,11$ | $17,23^{d} \pm 0,07$ |
| **Amostra 6** | $25,19^{d} \pm 0,04$ | $25,46^{c} \pm 0,06$ | $18,40^{c} \pm 0,04$ |
| **Amostra 7** | $30,30^{a} \pm 0,06$ | $25,95^{b} \pm 0,10$ | $18,74^{b} \pm 0,02$ |

Os valores que não possuem pelo menos uma letra em comum na mesma coluna são significativamente diferentes ($P<0,05$). L*: luminosidade; a*: tendência ao vermelho; b*: tendência ao amarelo.

A cor é um importante parâmetro para consumidores, pois indica se o suco apresenta ou não as condições ideais para comercialização e consumo. Porém, a cor, na maioria dos casos, não contribui para um aumento efetivo no valor nutritivo ou qualidade do produto (Chitarra & Chitarra, 2005). Mas, em geral, consumidores têm preferência pelo suco de cor forte semelhante ao produto in natura.

Na avaliação de cor, utilizando-se colorímetro Minolta, observa-se diferença significativa entre a amostra padrão, suco in natura, e as amostras tratadas enzimaticamente. Segundo Tosun et al. (2008), a luminosidade (L*) diminui com o escurecimento do suco da amoreira-preta, indicando que a cor fica mais intensa ou escura. Valores de a* mais

elevados indicam frutas com maior tendência ao vermelho, enquanto valores de b* maiores indicam frutas com maior tendência ao amarelo. As amostras quando comparadas a amostra padrão (in natura) apresentaram maior tendência ao vermelho, mas menor intensidade.

Em amostras de amora-preta (*Rubus* sp.) Hirsh et al. (2012) encontraram valores de 29,1±1,6, 20,4 ±0,6 e 5,2 ±1,6, para L*, a* e b*, respectivamente, apresentando uma maior tendência ao amarelo, semelhante ao valor encontrado no suco in natura encontrado neste trabalho.

Pode-se observar um aumento na luminosidade, L*, nas amostras tratadas enzimaticamente em comparação com o suco in natura, devido a clarificação enzimática, que ocasionou uma diminuição na turbidez. Também observa-se um aumento nos valores de a* e b*. As amostras 4 e 7, com 0,1% e 2% da enzima Smash XXL apresentaram os melhores valores de L*, a* e b*, enquanto que as amostras 3 e 5, com 0,5% da enzima AMG 300L e 0,5% da enzima Smash XXL, apresentaram valores menores em comparação com o suco in natura.

## 3. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que para as análises de pH, sólidos solúveis (ºBrix), acidez, densidade e sólidos totais não houve diferença significativa a nível de 5%, pois as enzimas agem sobre a pectina, clarificando o suco. Nos parâmetros redução da turbidez, viscosidade, índice de cor e clarificação, houve diferença significativa a nível de 5%. Com o tratamento ocorreu uma diminuição significativa da turbidez, relacionado com a diminuição dos pedaços particulados presentes no suco, diretamente relacionada com a mesma, à viscosidade apresentou diferenças, ocorridas pela redução da quantidade de polpa da fruta. O índice de cor diminuiu significativamente, devido a diminuição do teor de pectina do suco, deixando este com menor intensidade de cor. A clarificação também foi eficiente, pela redução da quantidade de pectina em suspensão. O teor de sólidos totais variou de 14,87 a 15,75%, diferindo estatisticamente a nível de 5%.

Nos parâmetros que apresentaram diferença significativa, os melhores valores foram obtidos na amostra 4, com 0,1% da enzima Pectinex Smash XXL, ou seja, a enzima é eficiente e pode ser utilizada em baixas concentrações.

Para as análises de cor, pode-se notar diferença significativa a nível de 5%, comparando as amostras tratadas enzimaticamente e a amostra in natura. As amostras apresentaram maior tendência ao vermelho, a*, e ao amarelo, b*, menos intensidade e maior luminosidade, L*, devido à clarificação enzimática.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à URI Erechim pela infraestrutura.

## 6. REFERÊNCIAS

Brasil, 2008. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrucão Normativa Nº 37, de 1º de Outubro de 2018. *Reaulamento Técnico Para Fixacão Dos Padrões De Identidade E Qualidade Para Suco De Amora*. 22 ago. 2019. <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/44304943/do1-2018-10-08-instrucao-normativa-n-37-de-1-de-outubro-de-2018-44304612>.

Brasil, 2005. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos.* Brasília: Ministério da Saúde, 1018p.

Chitarra, M.I.F. and Chitarra, A.B., 2005. *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Lavras: UFLA. 785p.

Embrapa, 2007. *Respiração de frutas e hortaliças.* Brasília: Embrapa 2007. 10p. 22 ago 2019. < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103079/1/cot-46.pdf>.

Hirsch, G., 2011. *Valor nutricional e capacidade antioxidante de diferentes genótipos de amora preta (Rubus sp.).* 100 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência e tecnologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Hirsch, G. E., Facco, E. M. P., Rodrigues, D. B., Vizzotto, M. e Emanuelli, T., 2012. Caracterização físico-química de variedades de amora-preta da região sul do Brasil, *Ciência Rural*, Santa Maria, v.42, n.5, p.942-947.

Lago, C. C., Bernstein, A., Brandelli, A. and Noreña, C. Z., 2011. Characterization of Powered Yacon (Smallanthus sonchifolius) Juice and Pulp. *Food and Bioprocess Technology*, New York, v.5, n.6, p.2183-2191.

Markakis, P., 1982. Anthocyanins as Food Colors. *London: Academic Press*. 261p.

Pimenta, S., Zambrano, F. and Venturini, W., 2013. Caracterização Físico-Química e sensorial de suco adoçado de amora (Morus Nigra L.) obtido por prensagem e despolpamento. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, Ponta Grossa, v. 07, n. 02, p. 1118-1127.

Pinheiro, G. F. P., 2014. *Estudo da fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira jerivá (Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glasman).* 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Rommel, A., Wrolstad, R.E. and Heatherbell, D. A., 1992. Blackberry Juice and Wine: Processing and Storage Effects on Antocyanin Composition, Color and Appearence. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 57, n, 2, p 385- 410.

Sapers, G. M., Burgher, A. M., Phillips, J. G. and Galletta, G. J., 1985. Composition and Color of Fruits and Juice of Thornless Blackberry Cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Mount Vernon, v.110, n 2, p.243- 248.

Skrede, G., Wrolstad, R.E., Lea, P. and Enersen, G., 1992. Color Stability of Strawberry and Blackcurrant Syrups. *Journal of Food Science*, Chicago, v.57, n 1, p.172- 177.

Tosun, I. et al., 2008. Mudanças físicas e químicas durante a maturação de frutos de amora-preta. *Scientia Agrícola*, v.65, p.87-90.

Vaillant, F., Cissea, M., Chaverrib, M., Perez, A., Dornier, M., Viquez, F. and Dhuique-Mayera, C., 2005. Clarification and concentration of melon juice using membrane processes innovative. *Food Science and Emerging Technologies*, n. 6, p. 213-220.

Vizzotto, M. Amora-preta: uma fruta antioxidante. *TODA FRUTA. O poder de cura das frutas*. 22 ago. 2019. <http://www.todafruta.com.br/>.

Willats, W. G. T., Knoxb, J. P. and Mikkelsen, J. D., 2006. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel, Trends. *Food Science & Technology*, n.17, p.97-104.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Produção:

# Engenharia Econômica e Custos

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE ECONÔMICA DE UM EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL: COMPARAÇÃO ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO

**Keli Vechiato Kempfer**
**Renan Scapinello**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Erechim – Campus II - RS-331
kelikempfer@hotmail.com, renan.ecv@gmail.com

***Resumo:*** *O sistema construtivo em alvenaria estrutural, que sugere o conceito de paredes resistentes, existe há muitos séculos e está em constante evolução. No Brasil, vem ganhando grande destaque devido a suas vantagens diante ao concreto armado, principalmente na questão econômica. A alvenaria estrutural pode ser executada com diferentes tipos de blocos, sendo mais utilizados os cerâmicos e os em concreto. Quando se trata de comparação de elementos construtivos, o custo é um fator relevante a ser observado, diante disso, este trabalho tem como objetivo principal, comparar blocos cerâmicos e de concreto quanto ao custo quando utilizados em alvenaria estrutural para a implantação de um edifício de seis pavimentos em Erechim – RS. Com base em orçamentos feitos com empresas fornecedoras de blocos, conclui-se que os blocos de cerâmica apresentam menor custo, ao compara-los com blocos de concreto a diferença é de aproximadamente 4,50% no custo de blocos.*

***Palavras chave:*** *Alvenaria estrutural. Blocos cerâmicos. Blocos de concreto. Custo.*

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado da construção civil está cada vez mais competitivo e com isso vem mostrando aos construtores a necessidade de ampliar seus domínios em novas soluções construtivas, a fim de minimizar custos, sem a perda da qualidade do produto final (Haas, 2010).

A indústria do setor da construção civil busca diferenciais para maximizar o valor do produto sem deixar de garantir o desempenho desejável à edificação, tais como acústicos, isolantes e térmicos. A alvenaria estrutural entra como uma opção de solução, pois se mostra como um competitivo método construtivo em questões de custos, o que acaba causando interesse do setor construtivo.

Para Pascoal (2016), alvenaria estrutural é um sistema construtivo racionalizado, no qual a alvenaria desempenha tanto a função estrutural quanto a de vedação, dispensando o uso de pilares e vigas, o que torna as construções, em muitos casos, mais econômicas. O principal conceito ligado ao uso da alvenaria como sistema estrutural é a transmissão de ações através de tensões de compressão. Esse é o conceito básico a ser levado em conta quando se discute a alvenaria estrutural como processo construtivo de edifícios.

Os benefícios da utilização da alvenaria estrutural são: redução de custos, velocidade de construção, redução da diversidade de mão de obra, racionalização, produtividade, qualidade, instalações sem rasgos nas paredes, bom desempenho tecnológico, etapas de construção simultâneas, e menores perdas. Como restrições, têm-se a impossibilidade de remoção das paredes, menor esbeltez da estrutura, menores vãos livres e limitação do projeto arquitetônico.

No Brasil a alvenaria estrutural era executada em sua grande maioria com blocos de concreto, devido a esses serem mais resistentes que os de cerâmica. Contudo, o cenário está mudando. Hoje fabrica-se blocos cerâmicos de excelente qualidade e resistência à compressão, fazendo com que a escolha desses seja uma alternativa interessante frente aos blocos de concreto para quem vai construir moradias de baixo padrão e prédios de até 15 (quinze) pavimentos, nos quais o fator custo de obra é muito importante (Nichele, 2014).

Mediante ao exposto acima, pretende-se comparar diferenças de custos entre os blocos cerâmicos e de concreto, quando utilizados em alvenaria estrutural para um edifício de 6 pavimentos específico a ser implantado na cidade de Erechim–RS.

## 2. METODOLOGIA

Para Figueiró (2009) os principais componentes da alvenaria estrutural são: blocos ou unidades, argamassa, graute e armadura. Já os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura, sendo formados por pelo menos dois dos componentes anteriormente citados. Como exemplos de elementos podem ser citados: paredes, pilares, cintas, vergas, etc.

A primeira definição a ser feita na elaboração do projeto de alvenaria estrutural é o tipo de bloco que será utilizado. Devem ser consideradas todas as características dos materiais e produtos existentes no mercado onde será construído o edifício, para que seja tomada uma decisão segura, econômica e com um conforto ambiental adequado à finalidade a que se destina. Costuma associar-se a expressão alvenaria estrutural à alvenaria executada com blocos em concreto, porém a técnica não se restringe apenas a construções com este tipo de material (Accetti, 1998).

Existem no mercado diversas opções de tijolos e blocos, com diferentes características: materiais, dimensões, disposições dos furos, textura e diversas outras propriedades físicas e mecânicas, como resistência à compressão, porosidade e capilaridade, absorção de água, coeficientes de absorção e dilatação térmica (Thomaz; Helene, 2000). Poyastro (2008) afirma que é importante observar as características básicas dos tipos de blocos disponíveis no mercado para a execução de alvenaria estrutural. A opção a ser escolhida, depende das condições específicas de cada obra e somente um estudo técnico e econômico detalhado pode garantir a certeza da boa escolha.

A NBR 7171 - Bloco cerâmico para alvenaria (ABNT, 1992) define blocos cerâmicos como sendo um componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contêm. Conforme a NBR 15270-3 (ABNT, 2005) os blocos cerâmicos estruturais são produzidos para serem assentados com os furos na vertical.

Os blocos cerâmicos são mais leves que os em concreto (cerca de 40%) e têm a vantagem de possuir melhor isolamento térmico, porém, não alcançam índices de resistência à compressão similares com a mesma geometria dos blocos de concreto (Poyastro, 2008).

Já os blocos em concreto, são largamente empregados no Brasil com a vantagem de possuir vários fornecedores. Entretanto é mais pesado e não possui o mesmo isolamento térmico da cerâmica (Poyastro, 2008). A NBR 6136 (ABNT, 2007) classifica os blocos de concreto simples para alvenaria estrutural em duas classes:

- Classe A: Aplica-se às alvenarias externas sem revestimento, devendo o bloco possuir resistência característica à compressão maior do que 6 MPa, além da sua capacidade de vedação.
- Classe B: Aplica-se às alvenarias internas ou externas com revestimento, devendo o bloco possuir resistência característica à compressão de, no mínimo, 4 MPa.

Para Ramalho e Corrêa (2003) a concepção da estrutura consiste em se determinar, a partir de uma planta básica, quais as paredes que serão consideradas estruturais ou não-estruturais, em relação às cargas verticais. Os fatores que influenciam essa escolha podem ser: utilização da edificação, simetria da estrutura, entre outros. Esse conjunto de elementos portantes é denominado sistema estrutural.

Em edifícios de alvenaria estrutural, as paredes resistentes trabalham de forma combinada com as lajes formando um sistema estrutural tipo caixa, sujeito às ações verticais, sendo elas carga permanente e acidental e ações horizontais - força do vento

Para o procedimento de distribuição das cargas, com relação ao carregamento vertical, Ramalho e Corrêa (2003) indicam que as principais cargas a serem consideradas nas paredes são as ações das lajes e o peso próprio das paredes. Os autores discutem a interação de paredes, a importância da uniformização das cargas, a influência do processo construtivo e por fim os procedimentos de distribuição.

Para o presente trabalho utilizou-se o método de dimensionamento considerando-se distribuição de cargas verticais com paredes isoladas. Para Silva (2011) neste procedimento as paredes são tratadas como elementos independentes, cada parede é responsável, única e exclusivamente, pelo seu peso próprio e pelas cargas permanentes e acidentais transmitidas pelas lajes que nela se apoiam, não interagindo com outros elementos. São limitadas pelas aberturas existentes ou por alguma mudança de direção.

A carga atuante em uma parede é o somatório do que ocorre em cada pavimento, ao longo da altura do edifício, sendo que a carga flui exclusivamente por ela ao longo de sua altura até as fundações, sem interação com as demais (Silva, 2011). Possui como vantagens, ser um procedimento simples, rápido e mais seguro, pois na ausência da uniformização das cargas, as resistências para os blocos serão mais elevadas que se a uniformização fosse considerada. Mas Silva (2011) contrapõe que isso causa um elevado custo, pois blocos mais resistentes são também mais caros. Segundo o mesmo autor, recomenda-se que este procedimento seja utilizado para edifícios de pouca altura, e ainda quando construtivamente for garantido a não solidarização das paredes, de forma que trabalhem isoladamente de fato.

A partir dos esforços e das propriedades mecânicas de cada elemento, faz-se o dimensionamento, que na maioria dos casos de edifícios em alvenaria estrutural, é uma verificação de resistência dos elementos.

A alvenaria estrutural é um sistema estrutural que resiste bem aos esforços de compressão. Portanto, em edifícios de alvenaria, a compressão simples é a resistência mais importante e a solicitação mais comum. Para um elemento de

alvenaria em estado limite último (ELU) o esforço solicitante de cálculo, *Sd*, deve ser menor ou no máximo igual ao esforço resistente de cálculo *Rd*.

A resistência a compressão da alvenaria depende em grande escala do tipo de bloco, em menor escala da mão-de-obra e em menor escala ainda da argamassa. A máxima carga de compressão que a parede é capaz de resistir depende da seção transversal (espessura e comprimento da parede), da esbeltez (relação altura / espessura), e de eventuais excentricidades de carregamento (Parsekian 2012).

A resistência à compressão é obtida através da eq. (1):

$$Nrd = Fd \,.\, A \,.\, R \tag{1}$$

Sendo:
Nrd : é a força normal resistente de cálculo;
Fd : é a resistência à compressão de cálculo da alvenaria;
A: é a área bruta da seção resistente;
R: é o coeficiente redutor devido à esbeltez da parede, dado por pela Eq. (2):

$$R = [\,1 - \left(\frac{\lambda}{40}\right)^3] \tag{2}$$

(λ) é o índice de esbeltez da parede, definido como a relação entre altura efetiva e espessura efetiva. Devendo-se respeitar os limites impostor pela NBR 10837 (2000), que são:

- λ= (hef/tef) ≤ 24 para alvenaria não armada
- λ= (hef/tef) ≤ 30 para alvenaria armada

A mínima espessura da parede estrutural é 14 cm, com flexibilização do critério para edificações de até dois pavimentos, onde se deve respeitar o limite do índice de esbeltez.

Dentre os fatores que exercem influência na resistência à compressão dos painéis de parede, a resistência dos blocos tem caráter predominante. A "eficiência" é a relação entre a resistência da parede e a resistência do bloco que a compõe, e expressa matematicamente pela Eq. (3):

$$\eta = \frac{fpk}{fbk} \tag{3}$$

Onde:
$F_{pk}$: resistência da parede
$F_{bk}$: resistência do bloco

Parsekian (2012), afirma que de uma maneira geral as correlações entre prisma e bloco vale de 0,3 a 0,5 para blocos cerâmicos vazados e de 0,6 a 0,9 para blocos de concreto ou cerâmicos de paredes maciças. Em blocos de menor resistência usualmente essa correlação é maior do que em blocos de maior resistência. Com base nisso, faz-se uso de fpk/fbk = 0,50 para blocos cerâmicos e fpk/fbk = 0,80 para os blocos de concreto.

A resistência à compressão é verificada pela Eq. (4):

$$\frac{\gamma f . Nk}{A} \leq \left\{\frac{1{,}0 parede}{0{,}9 pilares}\right\} . \frac{0{,}7 fpk}{\gamma m} . \left[1 - \left(\frac{hef}{40 tef}\right)^3\right] \tag{4}$$

Sendo:
Nk: força normal característica;
A: área bruta da seção transversal;
fpk: resistência característica de compressão simples do prisma;
tef: espessura efetiva
hef: altura efetiva;
γf e γm: coeficientes de ponderação das ações e resistências. Os valores de γf e γm são 1,4 e 2,0 respectivamente.

### 2.1 Dados do edifício

Para o estudo de caso, considerou-se um edifício com 6 pavimentos sendo 4 apartamentos tipo por andar, cada um com 68,35 m², que somados a área de uso comum, totalizam por pavimento 348,80 m². A área da casa de máquinas e

área de reservatórios totalizam mais 25,00 m², o que gera uma área construída total de 2.113,00 m². O empreendimento será implantado na cidade de Erechim, região do Alto Uruguai no Estado do Rio Grande do Sul.

O pé-direito livre de piso a teto em todos pavimentos é de 2,80 m. Admitindo modulação vertical de 20 cm tem-se 14 fiadas de blocos. A espessura de argamassa considerada entre blocos é de 1 cm, como especifica a NBR 10837 (ABNT, 2000). As lajes adotadas serão do tipo maciças de 10 cm de espessura. A Fig. 1 apresenta a planta baixa do pavimento tipo do edifício em estudo.

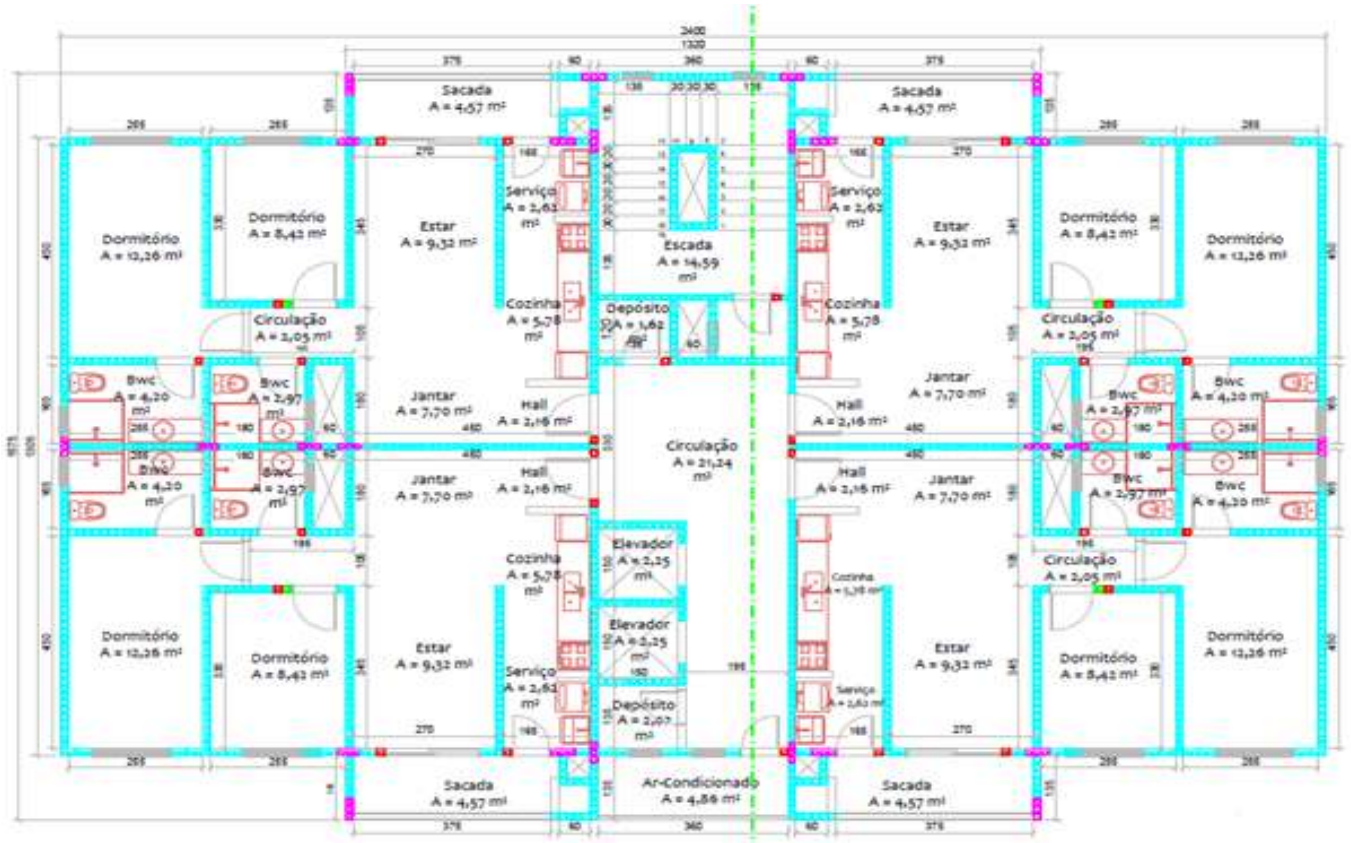



Figura 1 - Planta do pavimento tipo. Fonte: Autores, 2019.

As cargas a serem consideradas em uma edificação dependem do tipo e da utilização desse edifício. Para o presente trabalho, o edifício é residencial, as principais cargas a serem consideradas nas paredes são: as ações das lajes e o peso próprio das paredes. Para a paginação e carregamento dos blocos estruturais, se utilizou para os cerâmicos, a família 29 e para os de concreto, da família 39.

### 2.1.1 Lajes

O pavimento tipo foi dividido em 42 lajes, como mostra a Fig. 2.

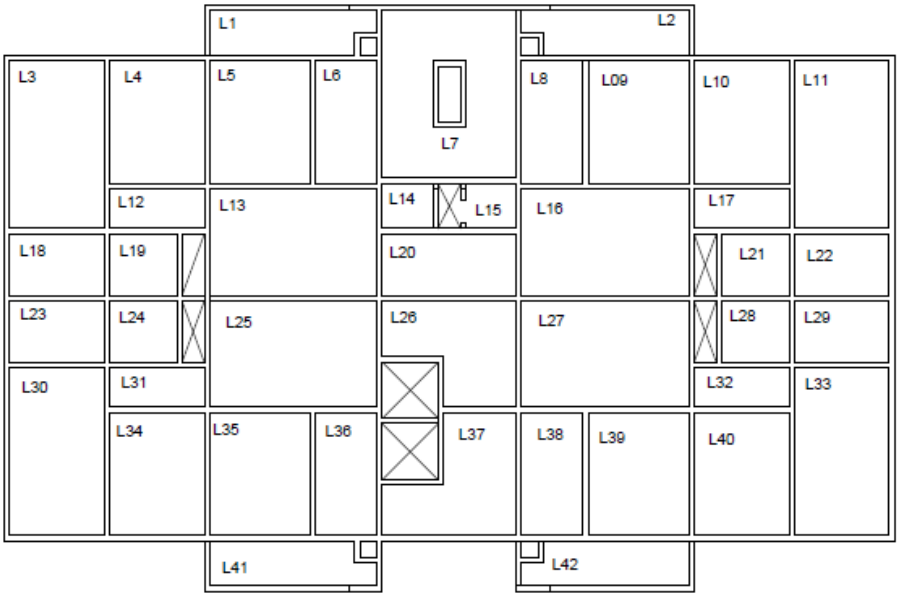



Figura 2 - Planta de lajes. Fonte: Autores, 2019.

Dividiu-se as cargas atuantes nas lajes em dois principais grupos: cargas permanentes e cargas variáveis. As principais cargas permanentes atuantes são: peso próprio, contrapiso, revestimento ou piso e paredes não estruturais. Sendo considerado que a argamassa de cimento, cal e areia possui peso especifico de 19 kN/m³. Para as cargas variáveis de utilização, os valores de carregamentos adotados se basearam nas indicações da NBR 6120 (ABNT, 2000), que estabelece valores para as cargas no cálculo de estruturas de edificações.

### 2.1.2 Paredes Estruturais

Segundo Reboredo (2013) a correta definição dos elementos estruturais é essencial, de forma a garantir ao sistema estrutural os contraventamentos necessários nas direções X e Y do edifício em planta. Em geral as paredes hidráulicas não são estruturais para possibilitar a manutenção, e algumas paredes podem ter apenas função de vedação, apoiando-se diretamente sobre a laje.

Para o presente trabalho, foram escolhidas todas as paredes possíveis como estruturais, com base na planta baixa do projeto arquitetônico e o limite de cada parede foi definido nas extremidades de aberturas de portas e janelas, e/ou nos eixos de encontros de paredes, assim, obteve-se as dimensões das paredes estruturais. As mesmas foram nomeadas na direção X e Y, da esquerda para a direita e de cima para baixo. Adotou-se discriminar todas aquelas que possuam a mesma geometria, sendo as demais consideradas apenas como repetições.

A Figura 3 apresenta a planta esquematizada das paredes estruturais de um pavimento tipo do edifício utilizado para o dimensionamento e comparação. Com base na planta baixa do projeto arquitetônico, foram excluídas as paredes de shafts e os peitoris das áreas de serviço, consideradas paredes de vedação e atuando como carga linear nas lajes em que se apoiam.

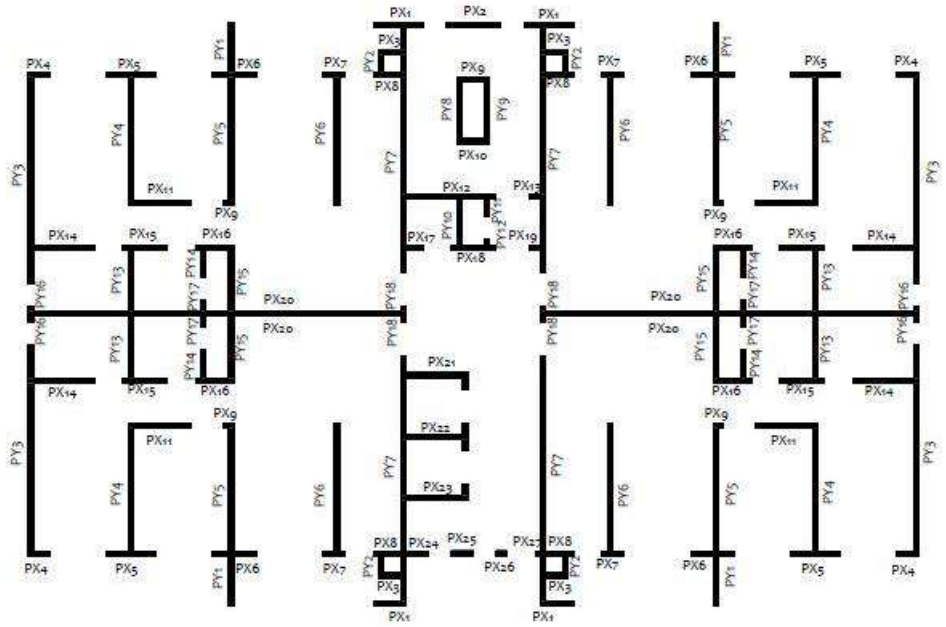


Figura **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.** - Paredes estruturais do edifício estudado. Fonte: Autor, 2019.

### 2.1.3 Quantitativos e Orçamentos

Para o orçamento, primeiro é preciso encontrar o quantitativo de blocos necessários de acordo com cada família de bloco. Para tal, utilizou-se das áreas das elevações das paredes descontando-se as aberturas de portas e janelas, multiplicadas pela quantidade de blocos/m². Com isso, encontrou-se a quantidade de blocos necessários para execução da alvenaria.

Os valores dos blocos estruturais cerâmicos foram obtidos através de orçamento realizado na empresa X, localizada em Vale Real– RS, onde a escolha da mesma se deve pelo fato de apresentar certificação PSQ – Programa Setorial da Qualidade, possibilitando assim o fornecimento de produtos normativos ao mercado. A certificação PSQ é pertencente ao programa PBQP-H de qualidade, sendo o PSQ responsável pela qualidade de materiais cerâmicos.

Já para os blocos de concreto, o orçamento foi realizado com a empresa Y, localizada em Araranguá - SC, a escolha se fez pelo fato de possuir o Selo de Qualidade ABCP, fornecido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) que qualifica os produtos oferecidos pelos fabricantes. Essa certificação é concedida somente às empresas que trabalham de acordo com as especificações das normas NBR 9780 (ABNT, 1987), NBR-6136 (ABNT, 2014) e NBR 9781 (ABNT, 2013).

## 3. RESULTADOS

Com as reações das lajes e o peso próprio das paredes, com suas devidas considerações, consegue-se obter a carga total que atua sobre cada parede. Vale ressaltar que as paredes que possuem maior carregamento são as que determinam a resistência que os blocos devem possuir. Apresenta-se na Tab. 1 os maiores valores de carregamento para blocos de concreto, multiplicando-se por cada pavimento, onde o mesmo é feito para os blocos de cerâmica, que está representado na Tab. 2.

Tabela 1 - Maiores cargas em cada direção com blocos de concreto (kN/m).

| Pavimentos | Blocos de Concreto | |
|---|---|---|
| | Dir. X | Dir. Y |
| 6º | 21,20 | 19,53 |
| 5º | 42,40 | 39,06 |
| 4º | 63,60 | 58,59 |
| 3º | 84,80 | 78,12 |
| 2º | 106 | 97,65 |
| 1º | 127,1 | 117,18 |

Fonte: Autores, 2019.

Tabela 2 - Maiores cargas em cada direção com blocos de cerâmica (kN/m).

| Pavimentos | Blocos de Cerâmica | |
|---|---|---|
| | Dir. X | Dir. Y |
| 6º | 19,64 | 14,07 |
| 5º | 39,28 | 28,14 |
| 4º | 58,92 | 42,21 |
| 3º | 78,56 | 56,28 |
| 2º | 98,20 | 70,35 |
| 1º | 117,84 | 84,42 |

Fonte: Autores, 2019.

Com os valores apresentados nas Tab. 1 e 2 e uso das equações 1, 2 e 3 encontram-se os valores de resistência a compressão característica (fbk) mínima para cada pavimento, e é feito e a verificação com a equação 4. A Tab. 3 apresenta os valores de resistência mínima para resistir aos carregamentos atuantes na edificação para blocos de concreto e a Tab. 4 para blocos de cerâmica.

Tabela 3 - Valores de fbk mínimo de blocos de concreto (em MPa) para as paredes de maior carregamento 1° ao 6° pavimento.

| | Blocos de Concreto | |
|---|---|---|
| Pavimentos | Dir. X | Dir. Y |
| 6º | 0,88 | 0,81 |
| 5º | 1,76 | 1,62 |
| 4º | 2,64 | 2,43 |
| 3º | 3,52 | 3,24 |
| 2º | 4,40 | 4,05 |
| 1º | 5,27 | 4,86 |

Fonte: Autor, 2019.

Tabela **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.** - Valores de fbk mínimo de blocos cerâmicos (em MPa) para as paredes de maior carregamento 1° ao 6° pavimento.

| | Blocos de Cerâmica | |
|---|---|---|
| Pavimentos | Dir. X | Dir. Y |
| 6º | 1,30 | 0,93 |
| 5º | 2,61 | 1,87 |
| 4º | 3,91 | 2,80 |
| 3º | 5,21 | 3,73 |
| 2º | 6,52 | 4,67 |
| 1º | 7,82 | 5,60 |

Fonte: Autor, 2019.

A NBR 6136 (ABNT, 2016) define os limites de resistência característica à compressão axial por classe para blocos de concreto como sendo 4 MPa para bloco com função estrutural. Com base nos valores de fbk mínimo obtido e na recomendação da NBR, obtêm-se que a resistência à compressão para o terceiro, quarto, quinto e sexto andares deve ser o mínimo exigido por norma, sendo 4,0 MPa. Em contrapartida, os valores encontrados precisam ser adaptados para valores de resistência encontrados comercialmente, com isso para o primeiro e o segundo pavimento se adotará blocos com fbk de 6,0 MPa e para os demais de 4,0 MPa.

Para os blocos de cerâmica, a recomendação pela NBR 15270 – 2 (ABNT, 2005) são resistências maiores que 3 MPa, com isso o quinto e sexto pavimentos devem ser de resistência mínima de norma. Porém, para adequar-se com as resistências encontradas comercialmente pela empresa fornecedora dos blocos, será utilizado blocos com resistências de 4,0 MPa para o sexto, quinto e quarto andar, 7,0 MPa para o terceiro e segundo e 10,0 MPa para o pavimento térreo.

A Figura 4 traz um esquema que apresenta as resistências necessárias para cada andar.

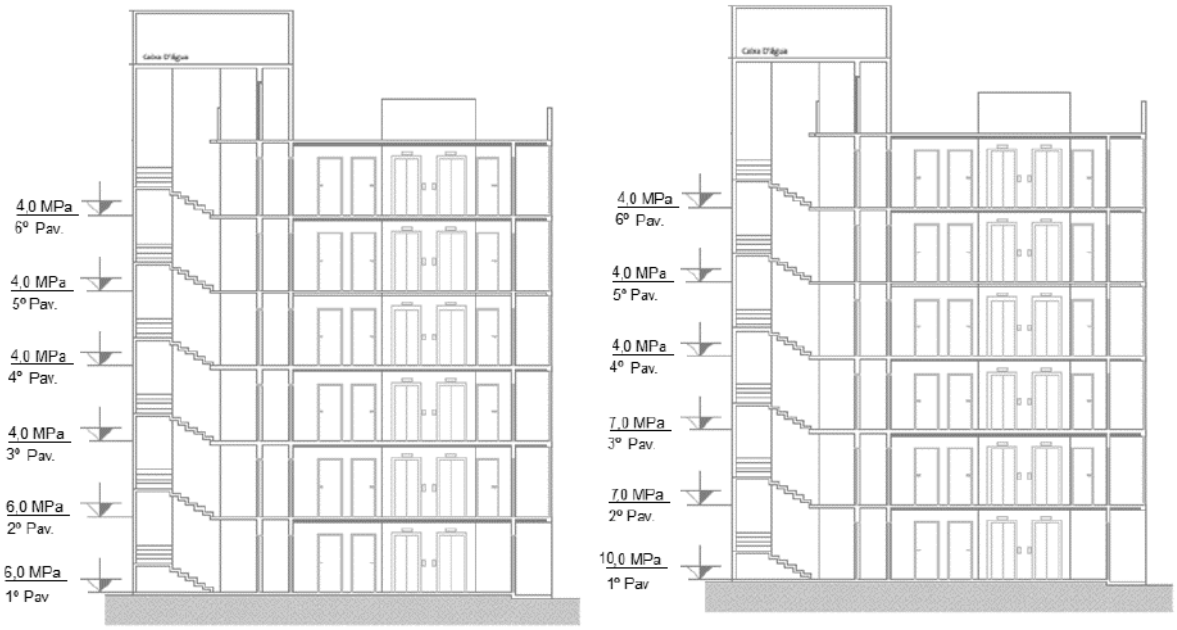



Figura **Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.** - Resistências necessárias para cada pavimento: (a) de blocos de concreto; (b) blocos de cerâmica. Fonte: Autores, 2019

As tabelas 5 e 6 apresentam a quantidade de blocos necessárias para a instalação do edifício em blocos de concreto.

Tabela 5 - Quantitativo de blocos de concreto.

| **Resistência** | **Blocos de concreto** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **14x19x39** | **14x19x54** | **14x19x19** | **14x19x39 Canaleta** |
| 6 MPa | 13882 | 1013 | 554 | 1695 |
| 4 MPa | 27764 | 2025 | 1107 | 3389 |
| Total | 41646 | 3038 | 1661 | 5084 |

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 6 - Quantitativo de blocos cerâmicos para paredes isoladas.

| **Resistência** | **Blocos de cerâmica** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **14x19x29** | **14x19x44** | **14x19x14** | **14x19x29 Canaleta** |
| 10 MPa | 8956 | 653 | 357 | 1093 |
| 7 MPa | 17912 | 1306 | 714 | 2186 |
| 4 MPa | 26868 | 1959 | 1071 | 3279 |
| **Total** | 53736 | 3918 | 2142 | 6558 |

Fonte: Autor, 2019.

Através do quantitativo, e dos valores fornecidos pela empresa X, se obteve o custo de blocos para a implantação desse prédio modelo de 6 pavimentos na cidade de Erechim-RS de R$ 130.600,20, já para os blocos cerâmicos, pela empresa Y, o custo será de R$ 124.764,40. A diferença de valores entre cerâmica e concreto é cerca de R$ 5.835,80.

## 4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho consistiu em comparar os custos entre os blocos de cerâmicas e blocos de concretos para a implantação de um edifício de 6 pavimentos na cidade de Erechim.

É necessário ressaltar que nem sempre os valores encontrados para resistência dos blocos são encontrados no mercado, sendo preciso adaptar. Caso observado no presente trabalho, onde foi necessário fazer uso de maiores resistências, tanto para os blocos de concreto como de cerâmica, para se encaixar no catálogo de produtos fornecidos pelas empresas orçadas.

O fato da região do Alto Uruguai não apresentar empresas que possuam certificações na fabricação dos blocos, acaba por aumentar os custos, pois, apesar do frete não ser cobrado pelas empresas, este custo acaba embutido no valor dos blocos.

Os blocos que se tornaram mais vantajosos foram os blocos de cerâmica, apresentando uma diferença de 4,50% do valor total, se for comparada com blocos de concreto.

## 5. REFERÊNCIAS

ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria**. 1998. São Carlos. 247p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837**: **Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2 Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

HAAS, D. **Contribuições à prevenção de fissuras de origem térmica na alvenaria estrutural.** 2010. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NICHELE, B. P. **Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos: controle na execução para evitar manifestações patológicas.** 2014. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PARSEKIAN, G. A. **121088 - Alvenaria estrutural.** São Carlos: Deciv, 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/383805041/Apostila-Alvenaria-Estrutural-UFSCAR-Parsekian-pdf>. Acesso em: 09 maio 2019.

PASCOAL, P. T. **Interação entre as paredes de alvenaria estrutural.** 2016. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

POYASTRO, P. C. **Comparação entre blocos cerâmicos e em concreto, quanto a custo e produtividade, quando utilizados em alvenaria estrutural.** 2008. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo: Pili Ltda, 2003.

REBOREDO, A. R. **Dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural de blocos de concreto: comentários sobre a NBR 15961-1 (2011).** 2013. 173 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVA, R. F. **Estudo Teórico-Experimental da Distribuição das Ações Verticais entre Paredes de Edifício de Alvenaria Estrutural Cerâmica em Escala Reduzida.** 2011. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil., Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011

THOMAZ, E,; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2000.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Produção:

# Ergonomia e Segurança do Trabalho

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DO PROJETO URI BAJA TEAM 2019

**Gabriel Luis Salcher**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI
gabrielluis_salcher@outlook.com
***Roberta Fátima Neumeister***
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI
robertaneumeister@uricer.edu.br

***Resumo.*** *A simulação humana está inserida nos processos produtivos, melhorando a produtividade, diminuindo custos e aumentando a qualidade dos produtos, o presente estudo busca aplicar esse conceito para aprimorar e auxiliar o desenvolvimento de projetos ergonômicos. O objetivo é proporcionar melhorias na ergonomia do projeto Uri Baja Team 2019. Por meio da avaliação dos ângulos gerados, e a zona de alcance ao painel, para os extremos da população definidas pelo regulamento do projeto. Foram levantadas informações dos ângulos gerados junto ao software pelo método de avaliação de conforto de Porter (1998) e a ferramenta RULA, dos percentis 99, 50 e 1. Os resultados mostram que houve benefícios nos ajustes do projeto proposto, aumentando o conforto para todos os percentis e possibilitando ao menor percentil o alcance ao botão de emergência.*

***Palavras-chave:*** *Simulação humana. Ergonomia. Captura de movimentos. Baja SAE.*

## 1. INTRODUÇÃO

As inúmeras modificações dos projetos na era das inovações exponenciais, fez com que a todo momento um projeto seja aperfeiçoado ou esteja sendo iniciando novos testes para criação de um produto diferente para ser ofertado ao consumidor. O desafio é que as empresas compreendam como monetizar a informação e, portanto, atendam as expectativas do consumidor para ser valiosa em relação a qualidade de produtos e a informação que o consumidor está disposto a pagar. (HANLEY, 2019).

Assim, evidencia-se a preocupação em desenvolver um produto, serviço ou atendimento que satisfaça os requisitos do cliente, proporcionando uma interação saudável desde o primeiro contato, pela estética e a ergonomia percebida. E com isso, estudar os aspectos que a ergonomia proporcionara não só para facilitar o manuseio, como evitar erros no uso do produto. Surgindo novas concepções e metodologias mais funcionais de trabalho, projetos de produtos, software e demais instrumentos de trabalho. (CORRÊA; BOLETTI, 2015).

A partir disso, a utilização da simulação humana para verificação da ergonomia do protótipo se faz necessária, principalmente em grandes projetos, onde o custo do produto para prototipagem é alto, e com a aplicação da simulação humana, este custo é relativamente baixo. (BRAATZ *et al.*, 2012; IIDA; GUIMARÃES, 2016).

Esta pesquisa, por sua vez, amplia o escopo da discussão para diferentes suportes de simulação humana e que venha auxiliar o projeto desenvolvido na sua fase de concepção, permitindo desdobrar os itens relevantes do regulamento Baja SAE BRASIL.

No contexto das novas tecnologias, o presente trabalho busca discorrer sobre a área de ergonomia de projetos, aplicado ao estudo ergonômico do projeto Uri Baja Team da SAE 2019, baseando-se em pesquisas nas áreas de interação do movimento humano-computadorizado, designado como simulação humana e dos temas que auxiliam a avaliar, como ergonomia e antropometria. Controlando posturas geradas através desta interação, estimulando a área de projetos ergonômicos e demonstrando novas formas de análise.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Ergonomia

Ergonomia é definida pela ABERGO (Associação Brasileira de Ergonomia) como a disciplina científica que estuda as interações entre os seres humanos e outros elementos do sistema de trabalho, aplicando os princípios teóricos,

dados e métodos, a fim de realizar projetos para otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral desse sistema. (IIDA; GUIMARÃES, 2016, p. 4).

A aplicação da ergonomia no desenvolvimento de produtos é uma tecnologia que visa criar produtos que funcionem bem em termos humanos. Seu foco é o usuário, e seu principal objetivo é assegurar a usabilidade, a segurança e a facilidade na utilização. Contribuindo para a concepção de meios de trabalhos eficazes de saúde e adaptados as características do usuário. Essa contribuição pode ser decisiva no sucesso do produto, definindo as características de interação entre o objeto e os diferentes usuários. Um dos objetivos do projeto de produto consiste em tratar das interfaces entre homens e mulheres e os objetos em seu entorno, sejam esses produtos de consumo, equipamentos industriais, programas de computadores ou equipamentos públicos. Neste caso, é importante trazer formas de aperfeiçoar seus métodos e ferramentas a fim de melhorar tais interfaces. (ROMEIRO FILHO *et al*., 2010).

A simulação humana é uma das formas de melhorias ágeis da interface máquina/homem, analisando a satisfação e o conforto dos indivíduos, os quais são os principais objetivos da ergonomia, fortalecendo que na prática laboral, posteriormente com o uso do equipamento/produto não venham a causar problemas a saúde do usuário.

Garantindo assim, que o projeto do produto, equipamento, sistema entre outros, auxiliem o homem, minimizando suas limitações, sem forçá-lo adaptar-se.

### 2.2 Análises em ergonomia

As aplicações de ferramentas ergonômicas, contribuem para avaliar diferentes aspectos durante execuções das operações. Estudos ergonômicos podem ser focado em avaliar a carga física, como posturas de trabalho, ou analisar as dimensões das tarefas desempenhadas no processo. O pacote do software da Tecnomatix Jack permite analisar diversos aspectos ergonômicos, como análise de fadiga, análise da força espinhal na parte inferior (L4 e L5), limite de manuseio manual, gasto de energia metabólica, análise de elevação descrita como NIOSH, posturas de trabalho OWAS, análise de tempo predeterminada (MTM-1), avaliação rápida de membros superiores e inferiores RULA e a previsão de força estática. (HOVANEC; KORBA; SOLK, 2015 in SIEMENS, 2019).

#### 2.2.1 Ferramenta RULA

A técnica desenvolvida por McAtamney e Corlett (1993) com o intuito de avaliar o trabalho de digitadores, focando a sobrecarga nos membros superiores e os fatores de riscos relacionados com lesões musculoesqueléticas, é uma adaptação do método OWAS, acrescido de outras variáveis como: força, repetição e amplitude de movimento articular, cargas concentradas no pescoço e membros superiores, utilizando de diagramas para identificação da amplitudes de movimentos e articulações.

O escore final da avaliação resultada pelo cruzamento dos escores dos grupos A e B no ábaco da tabela C, forma os níveis de ação recomendados, no nível 1, pontuação de 1 ou 2, estabelece uma postura aceitável, não sendo necessárias investigações, no nível 2 a pontuação 3 ou 4, é necessário investigações a um médio prazo, para o nível 3 a pontuação 5 ou 6, visa investigar e tomar providencias em um curto prazo, por fim, o nível 4 de pontuação igual ou superior a 7, visa investigar e tomar providencias imediatas.

### 2.3 Antropometria em projetos de interiores de veículos

O desenvolvimento de projetos aplica-se para diversos grupos de usuários, ou até mesmo para um único usuário, ou compor um grupo específico – crianças, universitários, idosos, deficientes físicos etc. Para isso, é fundamental conhecer as dimensões corporais e suas limitações ergonômicas. (IIDA; GUIMARÃES, 2016). É necessário respeitar as necessidades individuais que a diversidade de usuários ocasiona, com isso acomodar uma linguagem universal de interação. (CORRÊA; BOLETTI, 2015). Em vista disso, a consideração entre medidas mínimas e máximas da população, 95% dos homens e o mínimo de 5% das mulheres. Considerando projetos de interiores de veículos é necessário permitir acesso das dimensões máximas e mínimas, já que tanto homens quanto mulheres podem utilizar, além disso é preciso considerar os ângulos de tornozelos e joelhos ótimo e ângulo ideal entre coluna vertebral e a parte superior das pernas, conforme Fig. 2. (IIDA; GUIMARÃES, 2016).

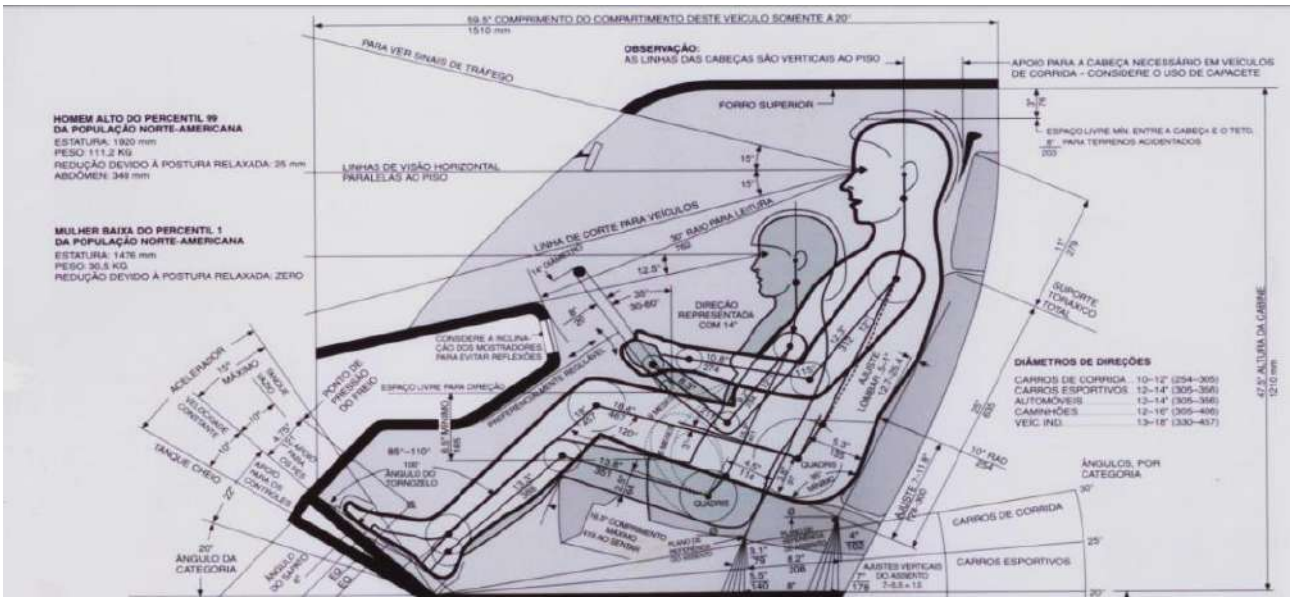



Figura 2 - Medidas antropométricas e ângulos de conforto para o percentil 5 e 95 de um veículo definidos por Tilley, 2005

A Fig. 2, demonstra os padrões dos ângulos e medidas confortáveis para os percentis 5 e 95 de um veículo, possibilitando o correto dimensionamento para o menor e o maior usuário, partindo dos ângulos de visão da cabeça, pernas, braços até a região dos pés, facilitando o alcance e o melhor acomodação ao ambiente. Tilley (2005) indica um valor de ângulo para os pés de 85 a 110°, para os joelhos em relação a canela de 120°, para o tronco de no mínimo 95°, o ângulo formado pelos braço o autor recomenda que fique em 115° e o ângulo formado pela abertura do antebraço e o tronco de 12°.

### 2.3.1 Postura sentada

Considera-se que para projetar um automóvel deve levar em consideração diversos aspectos ergonômicos, sendo que um simples fato de acessibilidade ou dificuldade de interpretação do produto, pode levar a denigrir a venda deste. As zonas de alcance máximos da Fig. 3, aonde delimitam os espaços que deverão ser alocados os objetos, assim deixando a zona preferencial de alcance para objetos que exigem manipulação frequente ou de emergência, enquanto os de manipulação ocasional são alocados na zona de alcance máximo. (IIDA; GUIMARÃES, 2016).

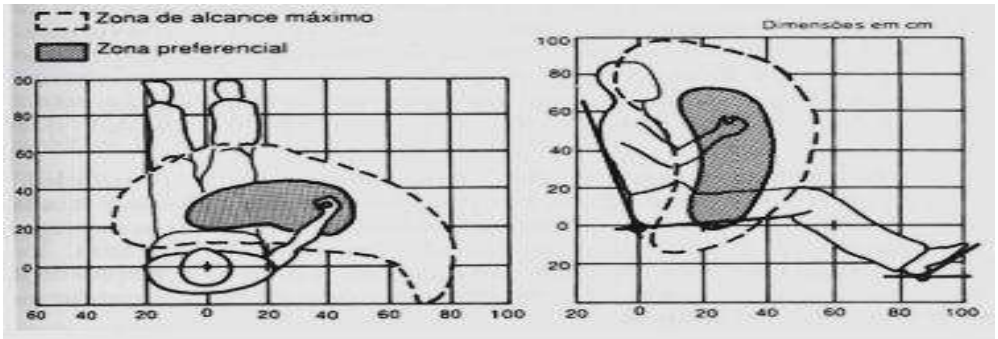



Figura 3 - Zonas de alcances máximos e preferenciais para posição sentada definidos em IIDA e GUIMARÃES, 2016

O projeto de assentos inadequados leva o usuário a adotar posturas que mantidas por um longo tempo, provocam fortes dores localizadas no conjunto de músculos solicitados para conservação desta postura. Com isso, a atividade sentada e de direção pode apresentar problemas musculares localizados devido à má postura. (MEDEIROS, 2004).

#### 2.3.1.1 Avaliação de conforto da postura sentada

A localização de quatro ângulos posturais recorrentes de estudos de análise postural de veículos automotivos, foram também avaliados no presente estudo de Zitkus *et al.* (2016), são demonstrados na Fig. 4, sendo o ângulo A em relação

ao corpo e o braço, o B relativo ao ângulo formado pelo braço e antebraço, o ângulo C formado pela coluna em relação as pernas e o ângulo D este gerado pelas pernas em função da coxa e canela.

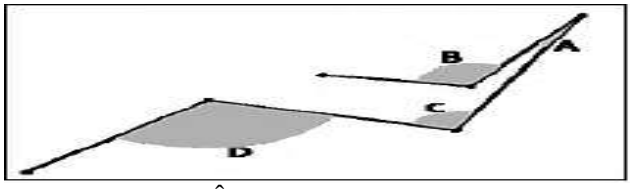



Figura 4 - Ângulos analisados por Zitkus

Baseado em estudos de outros autores, Zitkus *et al.* (2016), formulou a Fig. 5 que posteriormente utilizou para comparativo com suas análises de ângulos do protótipo atual e o novo.

| | Intervalo do mínimo ao máximo ângulo de conforto | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| **Rebiffe (1969)** | 10-45 | 80-120 | 95-120 | 95-135 |
| **Grandjean (1980)** | - | - | 100-200 | 110-130 |
| **Tilly & Dreyfuss (1993)** | 0-35 | 80-165 | 95-100 | 110-120 |
| **Porter & Gyl (1998)** | 19-75 | 86-164 | 90-115 | 99-138 |
| **Park et al (2000)** | 7-37 | 86-144 | 103-131 | 120-152 |
| **Hanson et al (2005)** | 14-68 | 96-160 | 92-109 | 109-157 |
| **Mohamad et al (2010)** | - | 100-167 | 96-123 | 102-143 |

Figura 5 - Intervalos de ângulos A, B, C e D conforme autores

Essas medidas descritas por Zitkus *et al*. (2016), pode ser encontrada no pacote de análises disponíveis no Jack, somente até o ano de 1998, ao qual é descrito por Porter. A análise é descrita como avaliação de conforto junto ao software, e pode ser baseada por valores de: Porter (1998), Krist (1994), Grandjean (1980), Rebiffe (1969), Dreyfuss 3D e 2D (1993).

Com estas medidas, é possível avaliar os aspectos de conforto encontrado nos projetos que serão avaliados, a fim de facilitar a ergonomia percebida para as diferentes antropometrias.

### 2.4 Projeto veículo mini baja (SAE)

O projeto SAE (Society of Automotive Engineers) criado na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos, sendo sua primeira competição em 1976, e iniciando no Brasil no ano de 1991. (SAEBRASIL, 2018). O projeto visa envolver o aluno com um caso real de desenvolvimento de um veículo off road, partindo da sua concepção, projeto detalhado, construção e a realização de testes. Os acadêmicos devem formar equipes que representarão a instituição de ensino superior, o evento acontece anualmente e reúne provas de avaliação comparativa entre os projetos.

Dentro das diversas avaliações realizadas desde a criação até a saída do produto, é avaliado quesitos aos quais totalizam uma nota final, esta nota é construída em porcentagem das áreas avaliadas, conforme mostra a Tab. 1.

| Áreas de avaliação | Descrição | Item | Valor Pontuação |
|---|---|---|---|
| **Apresentação do Veículo** | A equipe tem 5 minutos para explicar o funcionamento do veículo, é avaliado a habilidade da equipe em simular o processo de entrega do protótipo, as funcionalidades e acessórios oferecidas. | C 4.12.7 | **12,50%** |
| **Ergonomia** | É avaliado os méritos ergonômicos do protótipo, por exemplo a posição de dirigir e o conforto do assento. | C 4.12.8 | **20%** |
| **Acessibilidade** | São avaliados os acessórios do veículo e sua facilidade de manuseio | C 4.12.9 | **7,50%** |
| **Esforços** | São avaliados os esforços necessário para a operação do veículo | C 4.12.10 | **7,50%** |
| **Ruídos e Vibrações** | São avaliados os ruídos e vibrações transmitidas ao piloto, principalmente através dos comandos e do assento. | C 4.12.11 | **7,50%** |
| **Comportamento Dinâmico** | São avaliados as dinâmicas lateral, logitundinal e vertical do veículo, incluindo o desempenho dos sistemas de freios, trem de força e direção. | C 4.12.12 | **45%** |

Tabela 1 - Avaliação projeto Baja SAEBRASIL

A parte ergonômica totaliza 20% da nota, sendo uma das poucas com estudos aprofundados e com propostas de modelo ergonômicos desenvolvidos, mais a porcentagem de acessibilidade, somando uma porcentagem de 27,5% da avaliação total.

O prótotipo deve possuir um espaço acomodável para um total de 99% da população, com o maior percentil de 1,90 metros de altura e até 109 kg, e o percentil 1% do menor condutor com 1,45 metros e 42 kg. O que indica que o projeto deve atender 100% da população sendo, 99% significa assim que apenas 1% tem estatura maior que 1,90 metros, e o percentil 1%, indica que 99% da população é maior que essa estatura.

Por fim, o regulamento indica que o maior deve possuir espaços entre o corpo para movimentação confortável, o que inclui distâncias em relação aos elementos da gaiola e todos equipamentos de segurança exigidos. E para o menor deve ter capacidade de manipular e executar todos os comando confortavelmente. (SAEBRASIL, 2018, p.15).

### 2.5 Simulação humana

Com a evolução da tecnologia computacional, atualmente existem diversos programas que possibilitam essa simulação, entre os esses os com maiores estudos descrito estão, o software Delmia, Ergonautas e o Jack.

Essa possibilidade de simular o que acontece com o corpo humano por meio computacional, alavancou o desenvolvimento em diversas áreas, com isso softwares que possibilitam atender cada questão estudada foram sendo desenvolvidos para atender essa demanda. Sendo no processo de produção ou no desenvolvimento de um produto, essas ferramentas virtuais auxiliam a prevenção de problemas futuros envolvendo os usuários. (SIEMENS, 2019).

Dentre as diversas opções que permitem análisar e prever o conforto humano, como segurança e seu desempenho para de diferentes populações diretamente de um ambiente 3D, exemplos como o software Delmia, Ergonautas e o Jack. Recursos que permitem que os engenheiros examinem e interagem com o corpo inteiro e as posturas especificas do segmento para determinar o nivel de segurança de uma pessoa, como sua capacidade de trabalhar com o produto ou projeto de local de trabalho. (INTRISYS, 2018).

#### 2.5.1 Software Jack

O software Jack é uma das soluções do portfólio da Tecnomatix da Siemens, abrange soluções para a manufatura digital, ajudando a digitalizar a manufatura e gerar ideias para transformar e sincronizar toda a engenharia, desde o desenvolvimento do produto, fabricação e logística entre outros, para maximizar a eficiência. (SIEMENS, 2019).

##### 2.5.1.1 Análises disponíveis

Além da extensa base de dados disponível na plataforma, o software conta com diversas análises ergonômicas, partindo das mais conhecidas como as ferramentas OWAS, RULA e NIOSH, até mesmo algumas não muito difundidas como análise da lombar, limites de manuseio de material, gasto energético, previsão de força estática, tempos padrões de atividades, criação de envelopes de visão e criação de envelope de alcance, como ferramenta mais conhecidas por indústrias automotivas, como a análise de toda embalagem do motorista, com distâncias estabelecidas pela SAE para veículos de classe A e B, definindo distâncias de pedais, volante, assento entre outras características envolvidas no desenvolvimento de projetos automotivos. (SIEMENS, 2019).

Essas análises disponíveis como a embalagem do ocupante, parte das dimensões recomendadas pela SAE Internacional para veículos de classe A e B, sendo possível ajustar todo o *cockpit* do veículo conforme o regulamento para a classe em questão, e posteriormente analisar os componentes como distâncias dos pedais, altura do volante, definição de zonas de alcance, zonas de obstruções visuais e o conforto do usuário.(SIEMENS, 2019).

## 3. METODOLOGIA

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para realização da pesquisa e os procedimentos utilizados para coleta e análise de dados, para desmembrar o conhecimento do uso das tecnologias de simulação humana. Para coleta dos dados, foram levadas as considerações estabelecidas segundo o Código de Deontologia do Ergonomista Certificado, Norma ERGBR 1002. (ABERGO, 2003).

### 3.1 Caracterização da pesquisa

O presente estudo segue os passos descritos no fluxograma da Fig. 6, um estudo de caso, que segundo Trivinos (1987), constitui de uma pesquisa cujo objetivo é analisar profundamente um objeto ou processo, e neste caso, com o intuito de fornecer melhorias ergonômicas e modificações no projeto Uri Baja Team, aplicando-se a análise estática em simulação humana, descrevendo os resultados de forma quali-quantitativa.

A partir disso, foram identificadas as duas ferramentas que melhor se encaixariam neste estudo. Na primeira etapa da pesquisa utilizando da simulação humana, inseriu-se a ferramenta RULA, um instrumento de avaliação ergonômica

rápida dos membros superiores e inferiores, proporcionando avaliar os riscos de lesões musculoesqueléticas na atividade. (DOMBIDAU JUNIOR; BERNARDES da SILVA; CANEDO, 2017). E em um segundo momento o método de avaliação de conforto, descrito por ângulos formados pelas articulações do corpo, do estudo realizado por Porter (1998).

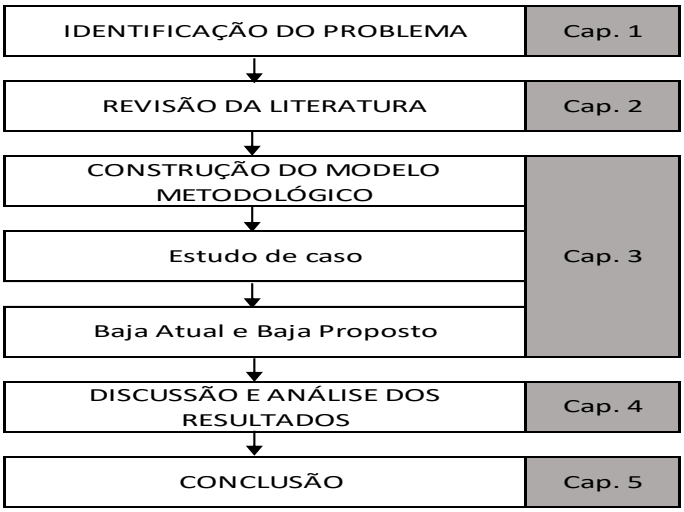



Figura 6 - Processo das etapas da pesquisa

### 3.2 Processo de simulação Jack

Com o uso da modelagem humana estática do software, foram realizadas análises estáticas com os percentis definidos pelo regulamento da SAEBRASIL (2018), para veículos Baja, partindo do princípio de atender o percentil 99% e 1% da população, referente aos extremos da população, o que representa que para o maior extremo, 99% da população é menor que esta estatura, e o menor que refere-se em 1% somente é menor que a estatura representada, neste sentido o regulamento indica atender uma população com medidas de 1,90 metros de altura e 109 kg de massa do usuário de maior percentil masculino e 1,45 metros de altura e 42 kg do menor percentil, também inseriu-se o percentil 50% de 1,7087 metros e 66,77 kg.

A coleta de dados realizada por meio da técnica de observação direta por meio de imagens geradas pelo software Jack e os resultados das ferramentas para cada percentil.

No primeiro passo, foram inseridos o projeto URI Baja Team 2019 no ambiente do software, e alocado o avatar de cada percentil, um de cada vez, tanto para o projeto atual como para o proposto, em seguida analisando com auxílio da ferramenta disponível no software os ângulos gerados de cada percentil.

Os primeiros ajustes realizados foram nas dimensões do *cockpit*, descritas como Baja Atual e Baja Proposto, na Fig. 7 demonstra as dimensões alternadas do atual e do proposto, com os valores em milímetros (mm).

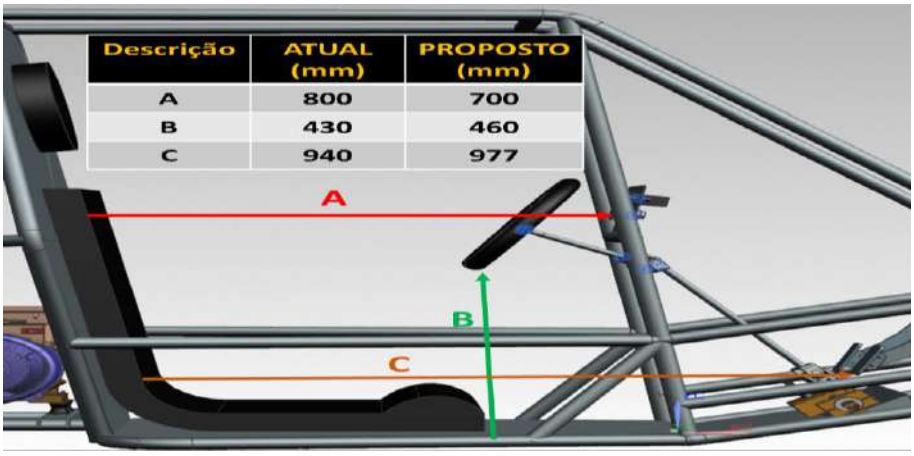



Figura 7 – Dimensões alteradas cockpit proposto e atual

Posteriormente, foram realizadas mudanças no painel, sendo o formato e a distância até o botão de emergência, conforme Fig. 8, do painel atual (A) e do proposto (B).

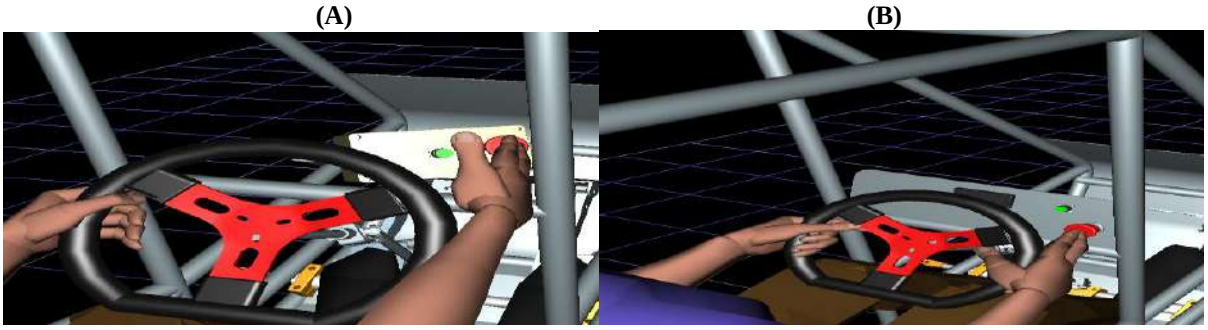



Figura 8 - Painel atual (a) e proposto (b)

Foram considerando os valores obtidos por Porter (1998) como base junto ao software, o qual indica os ângulos, gerando gráfico com valores obtidos da postura, como base de referência os máximos e mínimos dos ângulos considerados ideais para o autor, esta análise está disponível no pacote de embalagem do condutor como avaliação de conforto.

O segundo passo constituiu em avaliar a zona preferencial de alcance para objetos que exigem manipulação frequente, neste caso o botão de emergência, pelos valores descritos por Iida e Guimarães (2016), Figura 3, tanto no projeto de painel atual como no proposto.

E o terceiro passo, utilizando da ferramenta RULA, como forma de observar o impacto das alterações realizadas em cada percentil, no Score final da análise e que leva em consideração as divisões dos membros superiores e inferiores do corpo, definidos pela ferramenta

Desta forma, as ações estabelecidas para cada percentil no atual e proposto dos ajustes no *cockpit* produziram os resultados, seguindo o planejamento ilustrado pelo fluxograma da Fig. 9 abaixo, entre os ajustes realizados no projeto proposto e o projeto atual.

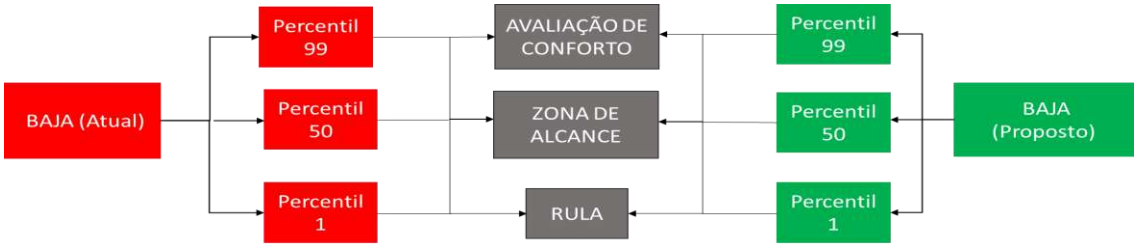



Figura 9 - Fluxograma do planejamento para coleta de dado

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo será abordado inicialmente a análise estática, simulando os três percentis em estudo, com as ferramentas ergonômicas RULA e a avaliação dos ângulos gerados, pelo software Jack de simulação humana no projeto atual e projeto proposto.

Por meio da análise manual no Jack, o primeiro item avaliado é a análise de conforto para os percentis no projeto atual. Os ângulos avaliados estão na Tab. 2, sendo A, referente ao braço e tronco, o B para o braço e antebraço, C ao tronco e perna, D entre a perna e canela, e o E entre a canela e obtidos da análise de Porter (1998).

Os resultados para o projeto atual estão na Fig. 10 e observa-se para o (P1) que os ângulos A, B e D do projeto atual, estão fora do estabelecidos pelo autor, neste caso os ângulos A e B das partes superiores do corpo, e na D inferior somente os joelhos.

No (P50), observa-se que somente o ângulo (C), referente ao tronco, está fora do recomendado. E para o maior percentil (P99), os ângulos referentes aos membros inferiores (C, D e E), todos ficaram fora dos limites, C entre 90 e 115°, D entre 99 a 138° e o E 80 a 113°.

Na sequência foram levantados os valores para o projeto proposto, como observa-se na Fig. 11 para o (P1) alcançar aos pedais, as partes inferiores (D e E) do corpo, ficam praticamente retas, não se enquadrando ao recomendado por Porter (1998), o que provoca desconforto para o condutor. No (P50), para o projeto proposto, todos os ângulos se enquadram dentro dos definidos por Porter (1998).

Para o (P99), no projeto proposto a principal mudança nos ângulos é no ângulo (D), visto que no projeto atual, o maior percentil, além de estar fora do ângulo considerado ideal para as pernas, encostava os joelhos no volante. As diferenças dos ângulos gerados do projeto atual para o projeto proposto podem ser visualizadas nas Fig. 10 e 11.

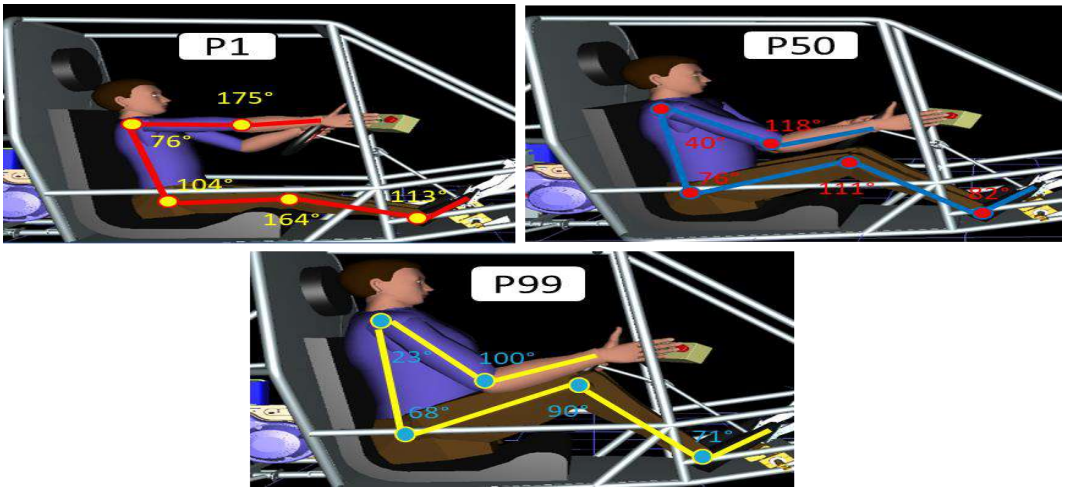



Figura 10 - Ângulos do projeto atual

Na Fig. 11, está representado os ângulos obtidos para o projeto proposto para todos percentis avaliados.

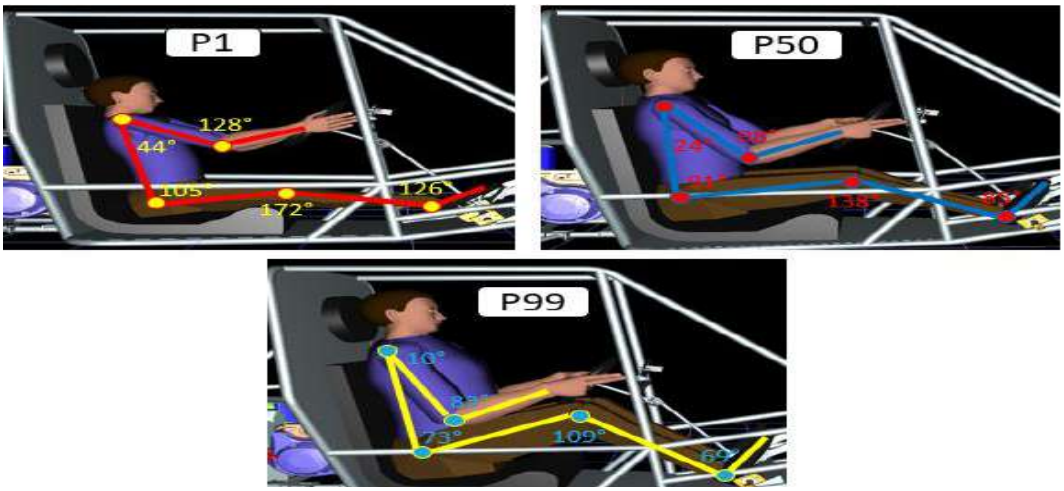



Figura 11 - Ângulos do projeto proposto

Foram levantadas as diferenças geradas para os membros superiores A e B, e os membros inferiores C, D e E, do projeto atual para o projeto proposto. A angulação referente ao ponto gerado pelo ângulo A, o que foram observados é que o ângulo diminui conforme aumenta a altura do piloto, para o (P1) ocorreu redução de 32°, do projeto atual visualizado na Figura 25 com valor de 175°, e na Figura 26 com ângulo de 128°, enquanto para o maior piloto a redução é de 13° e para o (P50) diminuiu 16°, visto que todos os percentis diminuíram o ângulo gerado no projeto proposto.

Para o ângulo B, referente ao braço e antebraço, os ângulos gerados também diminuíram no (P99) a redução de 17°, e para o menor percentil 47°, para o (P50) diminui em 20°.

No ângulo C, formado pelo tronco e pernas Porter (1998) recomenda entre 90 a 115°, e neste caso o ângulo aumentou para o projeto proposto em 1° para o menor percentil (P1), 15° para o (P50) e 5° para o (P99).

No ângulo D, formado pela coxa e canela, os ângulos aumentaram para o projeto proposto, para o (P1), a variação mínima cerca de 8°, para o (P50) de 27° e para o (P99) 19°.

Por fim, no ângulo E, conforme as análises dos ângulos C e D, os valores dos ângulos a aumentaram para o projeto proposto, no (P1) aumento em 14°, no (P50) em 3° e o (P99) em 2°, estes últimos com um pequeno aumento para o projeto proposto, como mostrado na Tab. 2.

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| | Diminuiu | Diminuiu | Aumentou | Aumentou | Aumentou |
| PERCENTIL 1 | 32 | 47 | 1 | 8 | 14 |
| PERCENTIL 50 | 16 | 20 | 15 | 27 | 3 |
| PERCENTIL 99 | 13 | 17 | 5 | 19 | 2 |

Tabela 2 - Diferença dos ângulos do projeto atual para o proposto

Como pode ser ressaltado, os ajustes realizados para o projeto proposto, tanto para o painel como para as distancias ao pedais, surtiram um efeito nos membros superiores, os ângulos A e B diminuíram e nota-se que essa diminuição se tem uma diferença alta entre os projetos, já para os membros inferiores os ângulos aumentaram, isso pelo aumento da distância de alocação dos pedais.

Conforme, está descrito na Tab. 3, os intervalos de ângulos mínimos e máximos de conforto por alguns autores e os obtidos do projeto de Porter (1998) o qual foram levados em consideração na pesquisa, os ângulos gerados no projeto atual e no projeto proposto, de ambos os lados do corpo, lado direito como (lado D) e lado esquerdo como (lado E). Levando em consideração para analisar o movimento do lado direito pois o condutor aciona o botão de emergência. Foram identificados também os ângulos preferíveis para Porter (1998). E abaixo os valores obtidos do projeto proposto para ambos os lados e para o projeto atual.

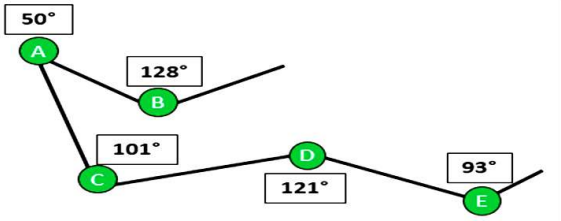
Pode ser observado pelos valores destacados em vermelho, que não se enquadram nos valores obtidos por Porter (1998), para o projeto proposto, o P99 ficou com o ângulo A de 10° sendo considerado abaixo do que recomendado pelo autor em comparação que considera uma variação entre 19 e 75°, assim como os ângulos B se encontra com 83° e na angulação correta seria entre 86 e 164°, no ângulo C o ângulo está em 73° enquanto o recomendado é de 90 a 115°, e o ângulo E, que ficou com 69° e o correto é estar entre 80 a 113°.

No P50, nenhum ângulo ficou fora do que é recomendado por Porter (1998). E para o menor percentil P1, os ângulos fora do recomendado foram os D e E, no ângulo D o recomendado é estar entre 99 e 138° e ficou com 172° e o ângulo E entre 80 a 113° e o encontrado em 127°.

**Intervalo do mínimo ao máximo ângulo de conforto**

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| Rebiffe (1969) | 10 a 45 | 80 a 120 | 95 a 120 | 95 a 135 | |
| Grandjean (1980) | - | - | 100 a 200 | 110 a 130 | |
| Tilly & Dreyfuss (1993) | 0 a 35 | 80 a 165 | 95 a 100 | 110 a 120 | |
| Porter e Gyl (1998) | 19 a 75 | 86 a 164 | 90 a 115 | 99 a 138 | 80-113 |
| Park et al (2000) | 7 a 37 | 86 a 144 | 103 a 131 | 120 a 152 | |
| Hanson et al (2005) | 14 a 68 | 96 a 160 | 92 a 109 | 109 a 157 | |
| Mohamad et al (2010) | - | 100 a 167 | 96 a 123 | 102 a 143 | |

**Dimensões preferíveis para Porter (1998)**




**URI BAJA 2019 PROPOSTO (LADO D)**

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| PERCENTIL 1 | 44 | 128 | 105 | 172 | 127 |
| PERCENTIL 50 | 24 | 98 | 91 | 138 | 85 |
| PERCENTIL 99 | 10 | 83 | 73 | 109 | 69 |

**URI BAJA 2019 PROPOSTO (LADO E)**

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| PERCENTIL 1 | 39 | 117 | 109 | 170 | 118 |
| PERCENTIL 50 | 27 | 92 | 90 | 138 | 82 |
| PERCENTIL 99 | 10 | 79 | 74 | 110 | 67 |

**URI BAJA 2019 ATUAL (LADO D)**

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| PERCENTIL 1 | 76 | 175 | 104 | 164 | 113 |
| PERCENTIL 50 | 40 | 118 | 76 | 111 | 82 |
| PERCENTIL 99 | 23 | 100 | 68 | 90 | 71 |

**URI BAJA 2019 ATUAL (LADO E)**

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| PERCENTIL 1 | 41 | 110 | 107 | 167 | 109 |
| PERCENTIL 50 | 19 | 91 | 76 | 108 | 80 |
| PERCENTIL 99 | 8 | 89 | 68 | 88 | 70 |

Tabela 3 - Comparativo valores obtidos com valores de Porter

Com os ajustes realizados no projeto atual, o projeto proposto possibilitou que todos os percentis a conduzir o veículo, devido ao menor percentil, alcançar os comandos, e o maior percentil não encostar os joelhos no volante, o que impossibilitaria uma condução segura no projeto atual, está modificação pode ser visualizada onde na Fig. 12A o joelho sobrepõe o volante e na 12B observa-se distância mínima entre a perna e o volante.

No projeto atual circulado em vermelho na Fig. 12, o volante possuía cerca de 430mm de distância em relação ao assoalho, o que ao inserir o maior percentil junto ao projeto atual (A), ocorria dos joelhos encostarem no volante, e neste caso esconde o volante quase por completo, o que não ocorre com o aumento para 460mm no projeto proposto (B), e com isso o maior percentil, consegue adentrar ao carro e conduzir em melhor condições, visto que seus joelhos não encostam mais no volante.

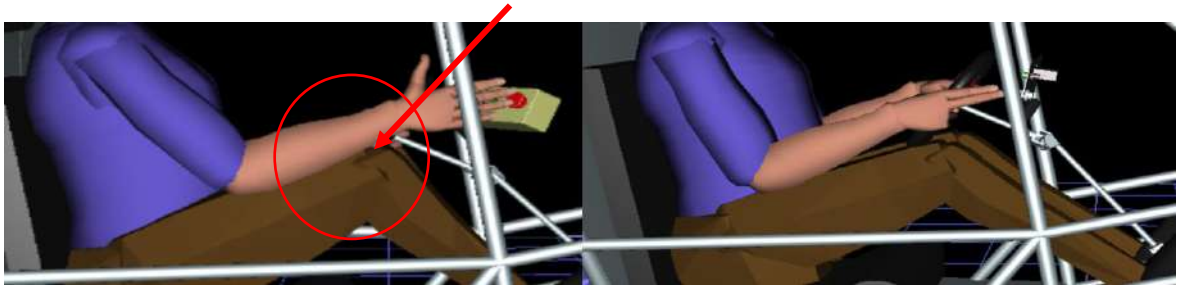


Figura 12 - Projeto atual (A) e projeto proposto (B), ajustes na distância do volante ao assoalho

## 5. CONCLUSÕES

Após realizado a primeira etapa com a simulação humana manualmente junto ao software, possibilitou realizar o levantamento dos ângulos gerados pelos percentis 99 e 1, o que contribuiu com o desenvolvimento ergonômico do projeto Uri Baja Team 2019.

A partir disso, com a finalidade de proporcionar melhorias ergonômicas do projeto Uri Baja Team 2019 juntamente analisar os ângulos gerados e a zona de alcance aos dispositivos de segurança, foram possíveis identificar melhorias nos membros superiores diminuindo os ângulos gerados (A e B) de todos os percentis para o projeto proposto, ficando somente o ângulo A do (P99) não conforme com os valores de Porter (1998), e para os membros inferiores (C, D e E), houve um aumento para todos os percentis, e neste caso proporcionou adequar o (P50) em todos ângulos recomendados, porem observou que o projeto necessita de alguns ajustes nos pedais, possibilitando enquadrar todos os percentis nos intervalos ao que Porter (1998) recomenda para o conforto. E por fim, uma das melhorias advindas é a zona de alcance máxima, permitindo alcance fácil ao botão de emergência para todos os percentis, principalmente para o menor, visto que anteriormente este não alcançava.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA. ERG BR 1002: *Código de Deontologia do Ergonomista Certificado*. Ouro Preto: Minas Gerais, 2003.

BRAATZ, D.; MENEGON, N. L.; FONTES, A. R. M.; TONIN, L. A. *Simulação humana digital na concepção de postos de trabalho: estudo comparativo de casos*. Revista Gestão e Produção, São Carlos – SP, v.19, n.1, p. 79-92, 2012.

CORRÊA, V. M.; BOLETTI, R. R. *Ergonomia: Fundamentos e Aplicações.* Bookman. 2015.

DOMBIDAU JUNIOR, C.R.; BERNARDES da SILVA, B. C.; CANEDO, G. R. Aplicação do método Rula (Rapid Upper Limb Assessment) em um laboratório didático. *XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. ENEGEP*. Joinville – SC, 10 a 13 de outubro de 2017.

HANLEY, T. *O potencial tecnológico da indústria 4.0 é quase ilimitado.* Disponível em: http://conteudodemarca.valor.com.br/deloitte/materias/tim-hanley/. Acesso em: 21/05/2019.

HOVANEC, M.; KORBA, P.; SOLC, M.; *Tecnomatix for Successful Application in the Area of Simulation Manufactuing and Ergonomics.* 15° International SGEM. 2015.

IIDA, I., GUIMARÃES, L. B. *Ergonomia: projeto e produção.* São Paulo: Edgard Blucher, 2016.

INTRINSYS. *Delmia V6: Especialistas em Ergonomia*. Disponível em: https://www.intrinsys.com/software/delmia/v6/portfolio/ergonomic-specialists. Acesso em: 18 de out. de 2018.

McATAMNEY, L.; CORLETT, E. N.; *RULA: a survey method for the investigation ofwork-related upper limb disorders.* UK. Applied Ergonomics, v.24, n. 2, p. 91-99, 1993.

MEDEIROS, C. R. *Avaliação do cockpit de veículos automotores do transporte de carga: Método apoiado na ergonomia e na usabilidade.* Curitiba – PR, 2004.

PORTER, M. J. and Gyi, D. E. *Exploring the optimum posture for driver comfort***.** Int. J. Vehicle Design, Vol. 19, N°3, 1998.

ROMEIRO FILHO, E.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, R. M. *Projeto do Produto.* (Abepro, Ed.) Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

SAEBRASIL. *Baja SAE BRASIL*. Disponível em Programas Estudantis: http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil. (2018). Acesso em: 15 de out. de 2018.

SIEMENS. *Jack e Process Simulate Human.* Disponível em PLM Automation: https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/human-modeling-simulation.html. Acesso em 23 de mai. de 2019.

TILLEY, A.; ASSOCIATES, H. D. *As medidas do homem e da mulher: Fatores humanos em design***.** Porto Alegre: Bookman. 2005.

TRIVINOS, A. N. S. *Introdução à pesquisa cientifica em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.* São Paulo: Atlas, 1987.

ZITKUS, E. ; FERRARI, A. L. ; REIS, T. D. ; USÓ, V. ; MEDOLA, F. O.; PASCHOARELLI, L. C. *Ergonomia no baja: análise do desconforto percebido.* In: 1º CONAERG - Congresso Internacional de ergonomia aplicada. 2016.

## 7. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# EDUCAÇÃO OLÍMPICA E ATLETISMO: FERRAMENTAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM VISANDO O DESENVOLVIMENTO DA COORDENAÇÃO MOTORA DE ESTUDANTES DOS 4° E 5º ANOS DO ENSINO FUNDAMENTAL DA ESCOLA MUNICIPAL CRISTO REI DE ERECHIM/RS II.

**Rodrigo Krempaski Ribeiro**
**Larissa Tressi**
**Vinícius Kaminski de Souza**
**José Luis "Nino" Dalla Costa**
**Bruno Felipe Assoni Faleiro**
**Edenir "Chita" Serafini**
**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões**
rodribeiro97@hotmail.com larissatressi@gmail.com vinisouza278@gmail.com jlninodc@gmail.com brunoafaleiro@hotmail.com chita99@gmail.com

***Resumo:*** *A Educação Olímpica (EO) é definida como um processo de ensino-aprendizagem, caracterizado pela ideia de um programa, no qual se busca a integração entre corpo e alma, visando o íntegro desenvolvimento humano, tendo como eixo integrador os Valores Olímpicos: Respeito, Amizade e Excelência. A coordenação motora é a base para o aprendizado de modalidades esportivas e para o adequado desempenho das tarefas diárias do ser humano, sendo imprescindível desenvolvê-la na infância. A obtenção de dados referentes ao perfil de coordenação motora é de suma importância para a promoção de uma prática pedagógica adequada no âmbito escolar. O presente estudo tem por objetivo investigar o impacto que um Programa de EO exerce sobre o nível de coordenação motora de estudantes do 4° e do 5º ano do ensino fundamental da Escola Municipal Cristo Rei de Erechim/RS. O instrumento utilizado para mensurar os níveis de coordenação é o Teste de Coordenação corporal para Crianças (KTK) que possui 4 tarefas: Trave de Equilíbrio (TE), Salto Monopedal (SM), Salto Lateral (SL) e Transferência de Plataforma (TP), contemplando crianças dos 5 anos aos 14 anos e 11 meses de idade. Para caracterização da amostra foi verificado o IMC dos participantes, relacionando-o a coordenação motora, utilizando-se para a análise, a tabela de referência de Viuniski (2000) e da Vigilância Alimentar e Nutricional SISVAN (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004). Participam do estudo 20 alunos do 4º ano e 15 alunos do 5º ano da referida escola que apresentaram o TCLE assinado pelos pais ou responsáveis. Os alunos participaram das atividades durante o segundo semestre de 2018. Onde os mesmos realizaram o baseline (Teste inicial em Agosto/2018), e o Pós-Teste (Dezembro/2018). Em cada encontro foram contempladas atividades, tais como: jogos lúdicos, estafetas, circuitos motores, minijogos, corridas, arremessos, lançamentos e saltos. As aulas do Programa de EO com ênfase no Atletismo foram ministradas pelo bolsista de Iniciação Científica e acadêmicos voluntários do Grupo de Estudos e Pesquisas em Educação Física/Educação Olímpica (GEPEF/EO). As atividades destas aulas foram planejadas visando desenvolver a coordenação motora e a EO. Até o momento, pode-se verificar que ocorreu uma melhora geral do grupo em si, mas houve participantes com sobrepeso que apresentaram níveis inferiores de coordenação motora. À medida que as intervenções aconteciam, foi possível verificar o envolvimento dos estudantes, que a cada aula melhoravam seu comportamento em relação aos colegas e professores buscando cada vez mais, superar seus próprios limites. Ao analisarmos os dados parciais por meio de testes estatísticos, foi possível verificar que as atividades propostas pelo Programa de EO apresentam resultados positivos, pois houve melhora significativa nos níveis de coordenação motora dos alunos. Desta forma, destaca-se a importância da continuidade das atividades contempladas pelo Programa de EO e das atividades psicomotoras para a melhora do desenvolvimento motor de estudantes auxiliando assim, no processo de ensino-aprendizagem no âmbito escolar e no futuro pessoal e profissional dos mesmos.*

***Palavras chave:*** *Atletismo. Coordenação Motora. Educação Olímpica.*

## 1. INTRODUÇÃO

A EO apresenta-se como uma possibilidade de conteúdo pedagógico no âmbito escolar visando o desenvolvimento psicomotor e auxiliando no processo do desenvolvimento humano. O autor Monteiro (2006-2007) vem de encontro, e, aponta em seus estudos que o indivíduo apresentará um desenvolvimento global quando inserido em programas psicomotores desde os primeiros anos de vida. Sendo assim, o aprimoramento da coordenação motora torna-se imprescindível durante a infância. Sua importância apresenta-se na vida como um todo, pois de acordo com Greco e Benda (1998), ela torna-se fundamental para o desempenho de habilidades básicas e pode ser aprimorada durante o processo de aprendizagem motora ao longo da vida.

Um dos instrumentos utilizados para identificar os níveis de coordenação motora na infância é o Körperkoordinationtest für Kinder (KTK), Teste de Coordenação Corporal para Crianças, desenvolvido por Kiphard e Schilling (1974). O teste permite investigar e classificar o nível de coordenação motora de crianças e jovens dos 5 aos 14 anos de idade. Para, Gorla e Araújo (2007) o teste KTK deve ser realizado periodicamente, podendo ser utilizado como mecanismo de aferição do impacto de intervenções específicas a fim de melhorar a qualidade de vida da população em questão e na seleção de atividades funcionalmente adequadas para colaborar com o desenvolvimento das crianças e jovens.

O KTK tem sido utilizado frequentemente devido à sua aplicabilidade, administração e manipulação dos equipamentos. A fim de contribuir com a produção de conhecimentos no campo da EO no Brasil, é pertinente que desenvolvam-se estudos que abordem as várias entradas que o tema permite. Percebe-se que a literatura aponta estudos, ainda recentes, realizados com base na EO. Contudo, estudos voltados para a análise da EO no Brasil, bem como, dos Grupos de Pesquisa em Estudos Olímpicos e Projetos/Programas de EO desenvolvidos no âmbito nacional encontram-se escassos no meio acadêmico. Outro fator que justifica a relevância deste estudo é que o Brasil como país sede dos Jogos Olímpicos de 2016, deverá desenvolver ações que visam inseri-la no cenário nacional (TAVARES, 2002).

Esse projeto tem como objetivo desenvolver a EO e o Atletismo como ferramentas de ensino-aprendizagem visando o desenvolvimento da coordenação motora em estudantes dos 4° e 5º anos do da Escola Municipal de Ensino Fundamental Cristo Rei de Erechim/RS (EMEF Cristo Rei)..

## 2. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como sendo do tipo experimental, (THOMAS e NELSON, 2002; GIL, 2007; GAYA, 2008), no modelo comparativo, visando à análise e a comparação do nível de coordenação motora entre os tempos de intervenções de EO/Atletismo, bem como entre os tempos de aplicação dos testes.

O material produzido na presente pesquisa será guardado pelo pesquisador responsável (Professor Ms. José Luis Dalla Costa) por um período de 5 anos, segundo a resolução 466/12 e esse material será eliminado conforme resolução vigente.

A composição da amostra seguirá os seguintes critérios: a escolha dos 4° e 5º anos ocorreu devido ao fato de a faixa etária escolhida para o estudo, se encontrar na fase transitória, em que ocorre a aplicação de movimentos fundamentais, em formas mais complexas e específicas do desenvolvimento de movimentos especializados, descritas por Gallahue; Ozmun (2003).

O presente Projeto de pesquisa possui um Plano de Trabalho onde necessitará de um acadêmico/bolsista para a execução do planejamento.

O Plano de Trabalho de Bolsista é executado por um acadêmico responsável por verificar o Índice de Massa Corporal (IMC), avaliar os níveis de coordenação motora dos estudantes por meio da bateria de testes KTK, identificar e comparar individualmente os resultados obtidos nos testes e após as intervenções analisar e discutir os dados coletados. O bolsista também ficará responsável em desenvolver as intervenções em EO e Atletismo na Vila Olímpica da URI Erechim.

### Delineamento da pesquisa

Os estudantes da EMEF Cristo Rei, participantes do estudo, regularmente matriculados nos 4º e 5° anos, forma submetidos à verificação do IMC, execução da bateria de testes KTK e participação nas intervenções em EO e Atletismo desenvolvidas pelo bolsista.

Participaram do estudo 20 alunos do 4º ano e 18 alunos do 5º ano da referida escola que trouxeram o TCLE assinado pelos pais ou responsáveis.

As atividades foram realizadas com 38 estudantes da EMEF Cristo Rei, regularmente matriculados no 4º e 5º Ano do Ensino Fundamental que trouxeram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido devidamente assinados por pais e/ou responsáveis, bem como o Termo de Assentimento.

Para o cálculo do IMC foram utilizadas as medidas de peso e altura de cada participante e os resultados foram classificados segundo a tabela de padrões de referência do IMC de Viuniski (2000) e da Vigilância Nutricional e Alimentar – SISVAN (MINISTÉRIO DA SAÚDE 2004). Na análise dos resultados da bateria de testes KTK foi realizada a soma dos pontos atingidos em cada uma das três tentativas das quatro tarefas. Por meio da relação desses

pontos com a idade dos escolares, obterse-á o Quociente Motor (QM) derivado da tabela de referência de cada uma das tarefas (GORLA, 2001). Destaca-se que a soma dos quatro QM (QM de cada tarefa) equivale a um escore que varia de 42 a 148 pontos, estando relacionado com uma porcentagem de 0 a 100 e permitirá assim, a análise dos resultados de duas formas: separados por tarefa ou pelo QM geral (LOPES et al., 2003).

Os participantes do estudo foram submetidos a um Programa de Ensinoaprendizagem em EO e Atletismo, iniciando na segunda quinzena de Agosto/2018 até a primeira quinzena de Dezembro/2018 e retornando na segunda quinzena de Março/2019 finalizando na segunda quinzena de Junho/2019 a serem realizadas na Vila Olímpica da URI Erechim.

Em cada intervenção foram contempladas atividades, tais como: atividades que visem desenvolver a EO e os Valores Olímpicos, saltos, arremessos, corridas, jogos lúdicos, estafetas, circuitos motores, minijogos e habilidades manuais (desenho, pintura, recorte e colagem).

Os estudantes forma avaliados pela bateria de testes KTK (por múltiplas coletas) em quatro momentos: ao início do projeto (Agosto/2018), antes das férias (Dezembro/2018), ao retorno das aulas (Março/2019) e ao final do projeto (Junho/2019), visando à comparação entre coletas de modo a verificar possíveis avanços dos níveis de coordenação motora.

**Teste de Coordenação Corporal para Crianças (Körperkoordination Test für Kinder – KTK)**

O instrumento utilizado para avaliar a coordenação motora dos estudantes foi o Teste de Coordenação Corporal para Crianças (Körperkoordination Test für Kinder – KTK) de Kiphard e Schilling (1974). O KTK pode ser utilizado com crianças entre os cinco anos e os 14 anos e 11 meses e a sua aplicação tem duração de aproximadamente 10 - 15 minutos por criança. O teste é constituído de quatro tarefas: trave de equilíbrio, saltos monopedais, saltos laterais e transferência sobre plataformas.

## 3. RESULTADOS

Este estudo se caracteriza como sendo do tipo experimental (THOMAS e NELSON, 2002; GIL, 2007; GAYA, 2008). Os dados obtidos com o teste KTK foram analisados utilizando o software BioEstat 5.0. O qual permitiu ter um parecer de cada aluno e nortear as atividades a serem realizadas visando melhorar os níveis de coordenação motora dos participantes.

Sendo o KTK dividido em quatro tarefas: Trave de Equilíbrio (TE), Salto Lateral (SL), Salto Monopedal (SM) e Transferência sobre Plataforma (TP), a análise dos resultados da bateria KTK é realizada por meio da soma dos pontos atingidos em cada uma das tentativas de cada prova e, por meio da relação destes com a idade dos participantes, obtém-se um quociente motor (QM), derivado de uma tabela de referência para cada uma das quatro tarefas. A soma dos quatro QM equivale a um escore que varia de 42 a 148 pontos, relacionados percentualmente. Após serem aplicados os testes, o somatório dos resultados de cada um dos testes motores é transformado por meio de tabelas normativas, considerando idade e sexo, em um escore motor (QM) indicado pelo autor do protocolo como apontado na tabela abaixo.

**Tabela 1** - Classificação do somatório do quociente motor da bateria de testes KTK.

| Classificação | Quociente Motor (QM) |
|---|---|
| Alta | 131≤ QM ≤145 |
| Boa | 116≤ QM ≤130 |
| Normal | 86≤ QM ≤115 |
| Perturbação | 71≤ QM ≤85 |
| Insuficiência | QM <70 |

Destaca-se que a soma dos quatro QM (QM de cada tarefa) equivale a um escore, estando relacionado com uma porcentagem de 0 a 100 e permitirá assim, a análise dos resultados de duas formas: separados por tarefa ou pelo QM geral (LOPES et al., 2003).

A estatística inferencial foi realizada por meio do teste Wilcoxon para amostras relacionadas, comparando o grupo com ele mesmo no *baseline* e pós-teste. A normalidade dos dados foi testada por meio do teste de normalidade Shapiro-Wilk, conforme mostra a Tabela 2, uma vez que no grupo "n" foi menor que 30. A maioria dos dados se mostraram anormais, optou-se, portanto, trabalhar com testes não paramétricos. Foram considerados como estatisticamente significantes valores de probabilidade < 0,05.

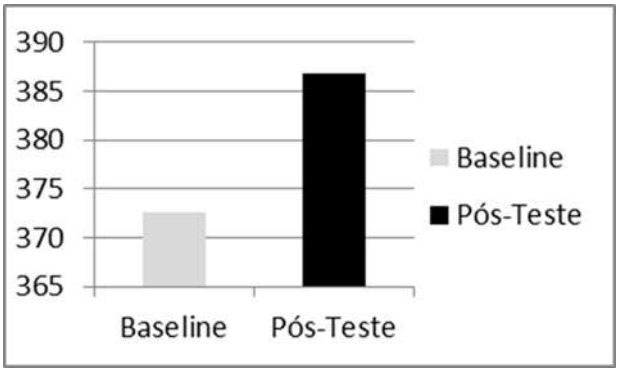
**Tabela 2:** Média, Desvio Padrão e Normalidade dos Dados do 4º Ano. Brasil, 2018 (n=20).

| Tarefa | TE | SM | SL | TP | QMG |
|---|---|---|---|---|---|
| **Média** | 97.65 | 91.15 | 82.40 | 121.65 | 392.85 |
| **Desvio Padrão** | 14.49 | 15.59 | 19.08 | 22.88 | 56.85 |
| **p** | 0.022 | 0.009 | 0.196 | 0.009* | 0.351 |

TE: Trave de Equilíbrio. SM: Salto Monopedal. SL: Salto Lateral. TP: Transferência de Plataforma. QMG: Quociente Motor Geral. p = valor de probabilidade (*p<0,05). [1] Teste de Shapiro-Wilk.

Na realização do Baseline, obteve-se uma média de 118 ± S = 15, com um escore de 393 equivalente a 88%. O Pós-teste foi realizado em dezembro, no qual obteve-se uma média igual a 120 ± S = 15, com escore de 401 equivalente a 91%. Mostrando de forma geral que houve uma melhora na coordenação dos estudantes. Dados encontrados no Gráfico 1.

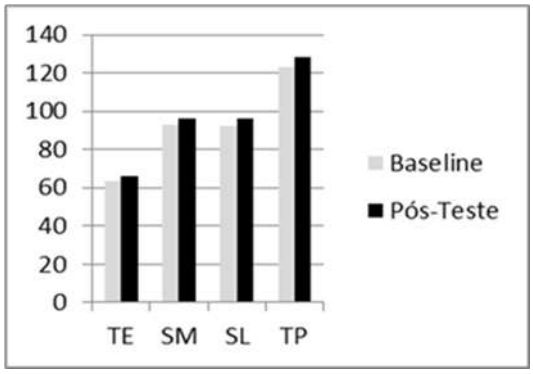
**Gráfico 1-** Média geral do *baseline* e pós-teste do 4º Ano. Brasil, 2018 (n = 20).




**Fonte:** O Autor, 2018

Com relação as tarefas obteve-se uma melhora Na TE, SM, SL, TP na média mas não significativa. O gráfico 2 mostra a comparação das médias das tarefas no *baseline* e Pós-teste.

**Gráfico 2-** Comparativo entre as médias das tarefas do grupo no *baseline* e Pós-teste do 4º Ano. Brasil, 2018 (n=20).




**Fonte:** O Autor, 2018

A tabela 3 apresenta a comparação da médias das tarefas, bem como os valores de significância encontrados por meio do teste estatístico.

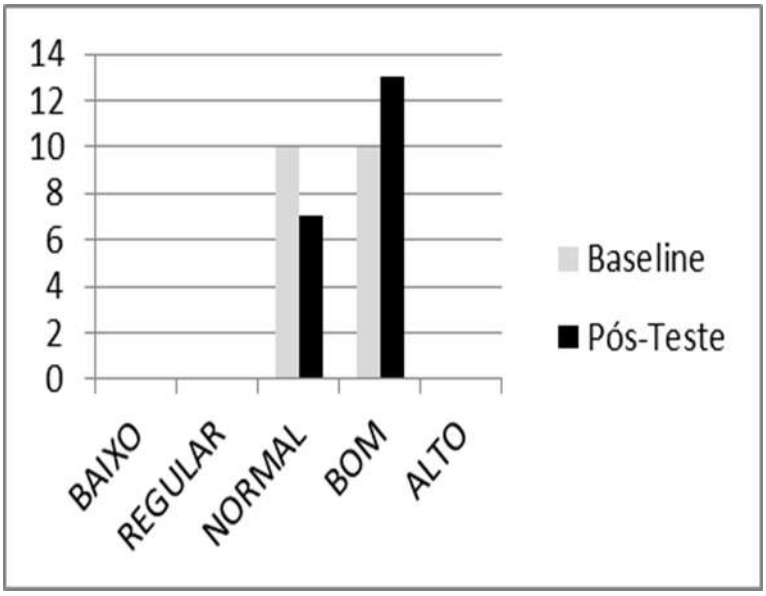
**Tabela 3 –** Significância dos resultados obtidos do 4º Ano. Brasil (n=18).

| Comparação | TE | SM | SL | TP | QMG |
|---|---|---|---|---|---|
| *Baseline* | 63,3 | 93,2 | 92,3 | 122 | 372 |
| Pós-teste | 65,9 | 96,4 | 96,2 | 128 | 386 |
| Valor de p* | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.97 |

TE: Trave de Equilíbrio. SM: Salto Monopedal. SL: Salto Lateral. TP: Transferência de Plataforma. QMG: Quociente Motor Geral. p = valor de probabilidade (*p<0,05). Teste de Wicoxon.

O gráfico 3 mostra a comparação da classificação do teste propriamente dito no *baseline* e no pós-teste, mostrando um aumento no nível motor dos alunos. No *baseline* os participantes estavam classificados em: dez estudantes com coordenação motora normal e dez estudantes classificados com coordenação motora boa. Após as intervenções os níveis de coordenação motora mudaram para: treze estudantes encontram-se com o nível de coordenação boa e sete estudantes com coordenação motora normal.

**Gráfico 3-** Comparação do resultado do teste KTK no *Baseline* e pós-teste do 4º Ano. Brasil, 2018 (n =20)




**Fonte:** O Autor, 2018

A tabela 4 também utilizou o teste de normalidade Shapiro-Wilk, uma vez que no grupo "n" foi menor que 30. A maioria dos dados se mostraram anormais, optou-se, portanto, trabalhar com testes não paramétricos. Foram considerados como estatisticamente significantes valores de probabilidade < 0,05.

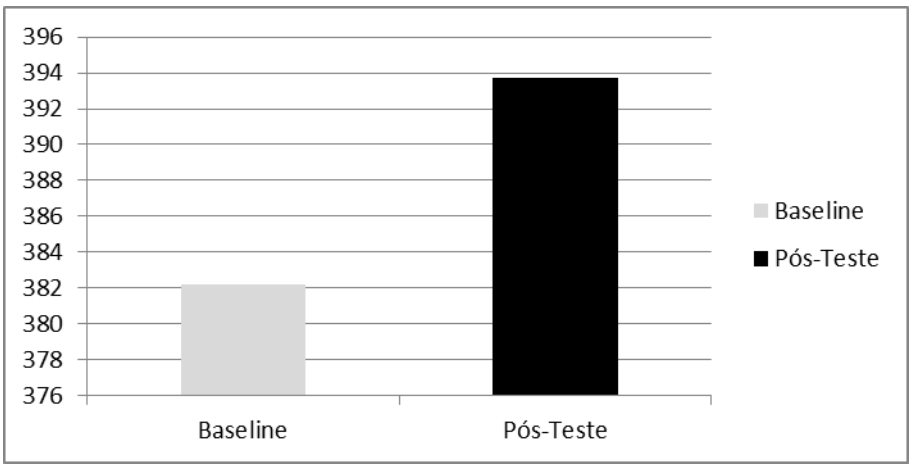
**Tabela 4:** Média, Desvio Padrão e Normalidade dos Dados do 5º Ano. Brasil, 2018 (n=18).

| Tarefa | TE | SM | SL | TP | QMG |
|---|---|---|---|---|---|
| **Média** | 67.4 | 97.3 | 94.3 | 128.6 | 382.2 |
| **Desvio Padrão** | **2.8** | **2.5** | **0.1** | **3.1** | **2.4** |
| **p** | 0.988 | 0.958 | 0.951 | 0.009* | 0.986 |

TE: Trave de Equilíbrio. SM: Salto Monopedal. SL: Salto Lateral. TP: Transferência de Plataforma. QMG: Quociente Motor Geral. p = valor de probabilidade (*p<0,05). [1] Teste de Shapiro-Wilk.

Na realização do Baseline, obteve-se uma média de 119 ± S = 14, com um escore de 396 equivalente a 89%. O Pós-teste foi realizado em dezembro, no qual obteve-se uma média igual a 122 ± S = 14, com escore de 409 equivalente a 93%. Mostrando de forma geral que houve uma melhora na coordenação dos estudantes. Dados encontrados no Gráfico 4.

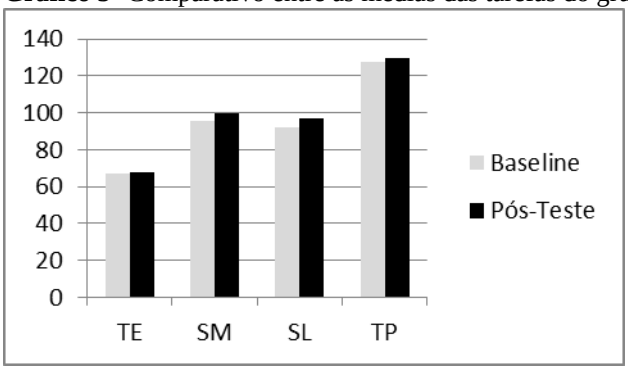
**Gráfico 4-** Média geral do *baseline* e *pós-teste*. Brasil, 2017 (n = 18).




**Fonte:** O Autor, 2018

Com relação as tarefas obteve-se uma melhora significativa na TE, no SM e no SL, apenas na TP houve uma melhora na média mas não significativa. O gráfico 5 mostra a comparação das médias das tarefas no *baseline* e Pós-teste.

**Gráfico 5-** Comparativo entre as médias das tarefas do grupo no *baseline* e Pós-teste. Brasil, 2018 (n=18).




**Fonte:** O Autor, 2018

A tabela 4 apresenta a comparação da médias das tarefas, bem como os valores de significância encontrados por meio do teste estatístico.

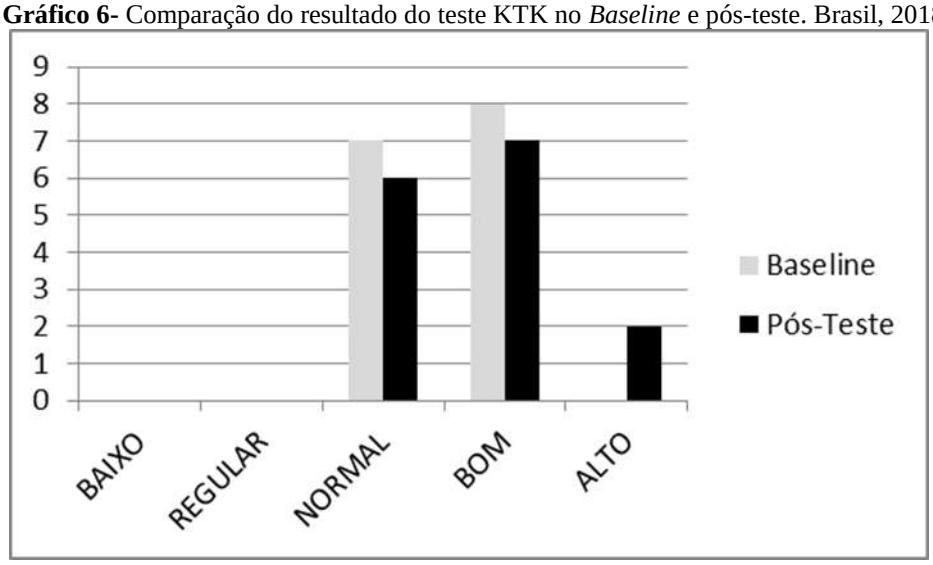
**Tabela 5 –** Significância dos resultados obtidos. Brasil (n=18).

| Comparação | TE | SM | SL | TP | QMG |
|---|---|---|---|---|---|
| *Baseline* | 91 | 85 | 92 | 128 | 395 |
| Pós-teste | 94 | 88 | 95 | 132 | 409 |
| Valor de p* | 0.02* | 0.01* | 0.01* | 0.05 | 0.000* |

TE: Trave de Equilíbrio. SM: Salto Monopedal. SL: Salto Lateral. TP: Transferência de Plataforma. QMG: Quociente Motor Geral. p = valor de probabilidade (*p<0,05). Teste de Wicoxon.

O gráfico 6 mostra a comparação da classificação do teste propriamente dito no *baseline* e no pós-teste, mostrando um aumento no nível motor dos alunos. No *baseline* os participantes estavam classificados em: oito estudantes com coordenação motora boa, sete estudantes classificados com coordenação motora normal. Após as intervenções os níveis de coordenação motora mudaram para: dois estudantes encontram-se com o nível de coordenação alta, sete estudantes com nível de coordenação boa, seis estudantes com coordenação motora normal.

**Gráfico 6-** Comparação do resultado do teste KTK no *Baseline* e pós-teste. Brasil, 2018 (n =18)

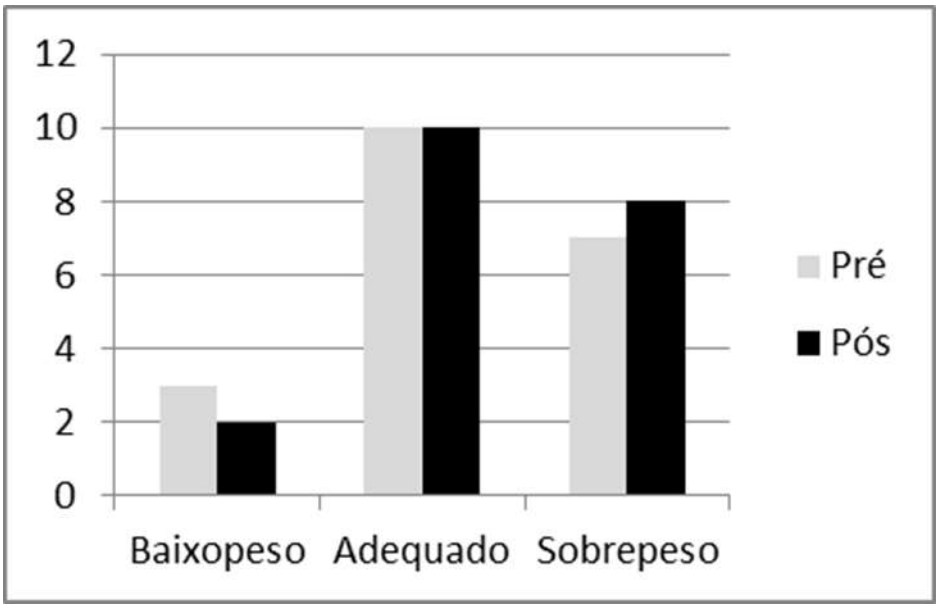



**Fonte:** O Autor, 20178

Para cálculos do IMC foram utilizadas a tabela de padrões de referência de Viuniski (2000), para crianças com idade entre 6 e 11 anos e, devido a um dos participantes do estudo apresentar 12 anos de idade, foi utilizada a classificação da Vigilância Alimentar e Nutricional - SISVAN (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004), a qual possui orientações básicas para a coleta, o processamento, a análise de dados e informações de serviços da saúde. A classificação é realizada por meio da curva de distribuição em percentis por sexo e idade, sendo classificada como baixo peso (< 5 percentil), adequado ou eutrófico (≥ percentil 5 e < percentil 85), sobrepeso (≥percentil 85) e obesidade (≥ percentil 95).

O IMC constatou que alguns alunos encontram-se com baixo peso, peso adequado e sobrepeso. Na primeira intervenção encontrou-se dados de 3 estudantes com baixo peso, 10 estudantes estavam com o peso adequado e 7 sobrepeso. Na segunda intervenção encontrou-se 2 estudantes com baixo peso, 10 com peso adequado e 8 com sobrepeso. Como mostra o gráfico 7.

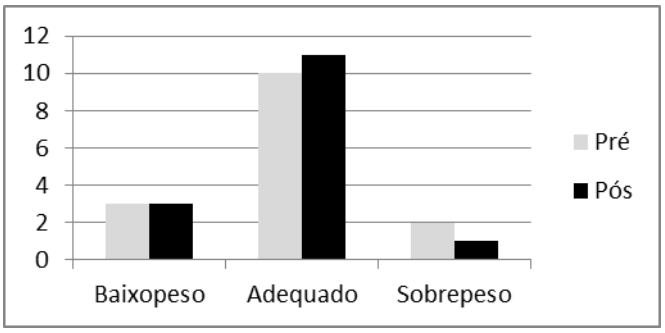
**Gráfico 7 -** Comparação do IMC na 1ª aplicação e na 2ª Aplicação do 4º Ano. Brasil, 2018 (n =20)




**Fonte:** O Autor, 2018

O IMC constatou que alguns alunos encontram-se com baixo peso, peso adequado e sobrepeso. Na primeira intervenção encontrou-se dados de 3 estudantes com baixo peso, 10 estudantes estavam com o peso adequado e 2 estudantes estavam com sobrepeso. Na segunda intervenção encontrou-se 3 estudante com baixo peso, 11 com peso adequado e 1 com sobrepeso. Como mostra o gráfico 8.

**Gráfico 8-** Comparação do IMC na 1ª aplicação e na 2ª Aplicação do 5º Ano. Brasil, 2018 (n =18)




**Fonte:** O Autor, 2018

## 4. DISCUSSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os objetivos da pesquisa e os resultados obtidos até o momento, pode-se constatar que os estudantes não apresentam dificuldades motoras extremas. Após os encontros os estudantes obtiveram uma melhora na coordenação motora demonstrados pelos dados encontrados com aplicação do teste KTK.

O IMC por sua vez demonstrou a importância e a necessidade de se ter uma orientação e um acompanhamento nutricional. Os dados obtidos apresentam estudantes com IMC abaixo do peso, peso adequado e sobrepeso.

Ao interligar os testes KTK e IMC descobriu-se que os indivíduos com o nível de coordenação motora regular e normal estavam com o seu IMC acima do peso.

Após o *baseline*, foram realizadas intervenções com atividades psicomotoras, jogos, estafetas, atividades recreativas e lúdicas e atividades de iniciação ao atletismo, bem como, atividades que contemplassem a EO, Valores Olímpicos e Olimpismo. À medida que as intervenções aconteciam, foi possível verificar o envolvimento dos estudantes, que a cada aula melhoravam seu comportamento em relação aos colegas e professores e buscavam cada vez mais superar seus próprios limites.

Com os resultados obtidos até este momento, considera-se que a EO e o Atletismo podem ser utilizados como ferramentas de ensino-aprendizagem para o desenvolvimento da coordenação motora de estudantes.

## 5. REFERÊNCIAS

BESSA, M.F.de S.; PEREIRA, J.S. Equilíbrio e coordenação motora em pré-escolares: um estudo comparativo. Revista Brasileira de Ciência e Movimento, Brasília/DF, v.10. n. 4. p.57-62. out., 2002.

FERREIRA, H. S. Psicomotricidade ou Educação Física? Romeu e Julieta ou Montecchio e Capuleto? Revista Digital - Buenos Aires – Ano 11, n. 101, 2006. Disponível em: <http://www.efdeportes.com/efd101/psicom.htm>. Acesso em 06 de janeiro de 2016.

GAYA, A. et al. Ciências do movimento humano: introdução à metodologia da pesquisa. Artmed: Porto Alegre, 2008.

GIL, A.C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4ed. Atlas: São Paulo, 2007.

GONÇALVES, Fátima. Psicomotricidade & educação física. Quem quer brincar põe o dedo aqui. São Paulo: Cultural RBL, 2010.

_____ Coordenação corporal de portadores de deficiência mental: avaliação e intervenção. Campinas, 2001, pp 134, dissertação de mestrado em Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2001.

GORLA, J. I., ARAÚJO, P. F., & RODRIGUES, J. L. (2009). Avaliação motora em educação física adaptada. São Paulo: Phorte.

_____; ARAÚJO, P.F de. Avaliação motora em Educação Física adaptada: teste KTK para deficientes mentais. São Paulo: Phorte, 2007.

GRECO, P. J.; BENDA, R. N. Iniciação esportiva universal: da aprendizagem motora ao treinamento técnico. Belo Horizonte: UFMG, 1998.

GUEDES, D. P.; GUEDES, J. E. R. P. Crescimento, composição corporal e desempenho motor de crianças e adolescentes. São Paulo: CLR Balieiro, 2002.

KIPHARD, E. J.; SCHILLING, V. F. Köper-koordinations-test für kinder: KTK. Weinhein: Beltz Test Gmbh, 1974.

LEVIN, E. A clínica psicomotora: o corpo na linguagem. Petrópolis – RJ, Editora Vozes, 1999.

LOPES, V. P. MAIA, J. A. R.; SILVA, R. G.; SEABRA, A.; MORAIS, F. P. Estudo do nível de desenvolvimento da coordenação motora da população escolar (6 a 10 anos de idade) da Região Autônoma dos Açores. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto, Porto, v. 3, n. 1, p. 47–60, 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigência Alimentar e Nutricional – SISVAN: Orientações Básicas para a coleta, processamento, análise de dados e informação em serviços de saúde. Brasília, 2004.

MONTEIRO, V. A. A psicomotricidade nas aulas de Educação Física escolar: uma ferramenta de auxílio na aprendizagem. Revista Digital - Buenos Aires – Ano 12 – n. 114 – 2006 e 2007. Disponível em: <http://www.efdeportes.com/efd114/apsicomotricidade-nas-aulas-de-educacao-fisica-escolar.htm>. Acesso em 06 de janeiro de 2016.

OLIVEIRA, M. C. Atletismo Escolar: uma proposta de ensino na Educação Infantil. Rio de Janeiro: Ed. Sprint, 2006.

ONGARATTO, M. P. Programa de educação olímpica na Escola de Educação Básica da URI – Erechim. Trabalho de Conclusão de Curso. Erechim, 2010.

PAPALIA; OLDS, S. W.; FELDMAN, R. D. Desenvolvimento humano. 8 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

PRATS, F. Deporte y Olimpismo: Educación en valores. In: MORAGA, M de M; ,DA COSTA, L(Org); MIRAGAYA, A; TAVARES, O; KENNETT, C ; CEREZUELA, B. (Eds). Universidade e Estudos Olímpicos = Seminário España Brasil 2006. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. Centre d'Estudis Olímpics, Servei de Publicacions, 2007, v.1, p 141-149.

RAMOS, C.S.R, FERNANDES, M.M. A importância de desenvolver a psicomotricidade na infância. <http://www.efdeportes.com/efd153/a-importancia-a-psicomotricidade-na- infancia.htm>, Lecturas Educación Física y Deportes. Buenos Aires, ano 15, n. 153, fev. 2011. Acesso em 05 jan. 2016.

REPPOLD FILHO, A. R. et al. (Orgs.). Olimpismo e educação olímpica no Brasil. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2009. (Série estudos olímpicos).

TAVARES, O. Academia Olímpica Brasileira: Desafios para o Século XXI. In: TURINI, M.; DA COSTA, L. P. (Org.). Coletânea de textos em estudos olímpicos. Rio de Janeiro: Editora Gama Filho, v. 1, p. 72-81, 2002.

THOMAS, J.; NELSON, J. Métodos de Pesquisa em Atividade Física. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES – URI – ERECHIM. Escola da URI lança projeto de educação olímpica. Erechim, 2009. Disponível em:<http://www.uricer.edu.br/new/site/informacao.php?pag_invoked=noticias_principal &id=2018>. Acesso em: 22 jan. 2016.

VIUNISKI, N. Obesidade Infantil: Um Guia Prático para Profissionais da Saúde. Rio de Janeiro: EPUB, 2000.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Produção: Gestão da Inovação e Empreendedorismo

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# O EMPODERAMENTO DO CORPO GORDO ATRAVÉS DAS DICAS E IDEIAS DE MODA DE UMA INFLUENCER GORDA

## *FAT BODY EMPOWERMENT THROUGH FASHION TIPS AND IDEAS OF A FAT INFLUENCE*

**Alcimara Cardoso**
**Vania Goellner dos Santos Fante**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul IFRS – Campus Erechim. Rua Domingos Zanella, 104, Erechim/RS
***Emails:*** alcimaracardoso.nk@gmail.com; vania.fante@erechim.ifrs.edu.br.

***Resumo:*** *A presente pesquisa busca analisar o discurso da blogueira Jú Romano em suas plataformas digitais. Propõe-se identificar separadamente questões relacionadas à beleza, corpo e auto-estima, e como ela usa suas redes sociais para combater a "gordofobia". Tendo como objetivo principal desta pesquisa, identificar a força de seu discurso empoderando outras mulheres que se identificam fora de padrões. Finalmente, foi realizada uma análise reconstruída de identidade e imagem.*

***Palavras chave:*** *Corpo gordo feminino, mídias sociais,influencers gorda.*

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (s.d.) a palavra *plus size* é um fenômeno relativamente recente. O manequim considerado *plus size* no Brasil é acima de 44, há poucos anos, a mulher *plus* só comprava roupas escuras e mais largas para esconder o excesso de gordura, ou em seções de roupas masculinas e de roupas para gestantes, pois eram apenas nestas seções que elas encontravam o que vestir, mas atualmente isso mudou e, no Brasil e no mundo, mais e mais mulheres fora do padrão ganham espaço na mídia. (SEBRAE, 2016)

No Brasil, a *influencer* Jú Romano, se mostra muito bem resolvida com seu corpo, ela atua como modelo para algumas marcas brasileiras, e apresenta em suas redes sociais diferentes estilos de moda, atualizando suas seguidoras com o que há de mais atual nas tendências, esbanja bom humor, "Não dá para presumir o corpo de uma pessoa pelo peso que ela tem…cada pessoa é única e é um conjunto de características que a torna especial". (JÙ ROMANO, 2018)

Este artigo tem como objetivo principal traçar o impacto que a influencer Jú Romano teve na vida de outras mulheres gordas através de suas plataformas digitais, relacionando o comportamento de um público ávido por moda com as questões de autoestima e beleza. O contexto baseia-se em três tópicos principais, sendo eles: introdução, revisão da bibliografia e considerações finais, e por fim encontram-se as bibliografias pesquisadas.

O presente artigo buscou refletir sobre o corpo gordo e suas relações com a moda e a mídia, foi realizada pesquisa bibliográfica em livros, artigos científicos, sites e plataformas digitais. Obteve-se reconhecimento que há uma necessidade de acesso a moda *plus size* gritante neste nicho de mercado, mostrando que as plataformas digitais podem ser uma ferramenta que potencializa a inclusão das pessoas antes esquecidas pela indústria da moda.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Identidade gorda, moda e mídia

[...] Alguns autores, como Coupry (1990), questionam o atual mundo magro e os corpos cada vez mais estereotipados. Um estudo conduzido por (apud Felerico 2011), que ressalta a cultura ao corpo e como a mídia o retrata, classificou como "corpos atormentados" os corpos obesos ou acima do peso, que são tão rejeitados pela sociedade atual. Para muitos, a Moda se tornou uma finalidade de existência (LIPOVETSKY, 1989).

> [...] É perfeitamente possível ser gordo e saudável. Assim como é possível ser baixo e saudável. Criou-se uma espécie de superstição em torno da gordura. Se você é gordo nunca se casará, nunca terá um emprego, nunca terá uma vida sexual satisfatória. Frequentemente os gordos adoecem não por causa da gordura, mas sim pelo stress, pela opressão a que são submetidos. Ninguém assume que está incomodado com a gordura, dizem que estão preocupados com nossa saúde. (VASCONCELOS, 2004, p. 67).

Existem mulheres gordas em comerciais de empresas como Dove, Havaianas, capas de revistas como Flúvia Lacerda, bailarinas gordas, e até mesmo a própria cantora Anita pediu para não retocar suas fotos do clipe "vai malandra", que tem reforçado a quebra de padrões. Isso tudo porque a indústria *plus size* está, lentamente, alterando os modelos de beleza. Porém, ainda assim, nesses comerciais com menos retoques há a inclusão de modelos *plus* com suas imagens retocadas digitalmente, e que representam um corpo idealizado passando a ideia de que todas as mulheres que querem ser belas e bem-sucedidas se assemelhem a essa imagem, ou seja, pode ser *plus size* mas não deve ser gorda sem proporções, pode ter curvas mas não deve ter barriga, pode ter rosto redondo mas não deve ter papada, pode ter busto grande mas não deve deixar de ter cintura. (ANSELMO, 2016)

> [...] com esses bisturis de software, todos os "defeitos" e outros detalhes demasiadamente orgânicos presentes nos corpos fotografados são eliminados, retocados ou corrigidos. E as imagens assim editadas aderem a um ideal de pureza digital, longe de toda imperfeição toscamente analógica e de toda viscosidade que pareça orgânica demais. [..] Esses corpos são superfícies lisas e puras, onde todo rastro da impertinência carnal e do seu fardo realmente tridimensional fora retocado ou deletado. (CASTILHO E MESQUITA, 2015, p.30)

"O que incomoda não é uma suposta falta de saúde, mas o corpo gordo", afirma Flávia Durante, jornalista, DJ e ativista anti-gordofobia." "O ativismo gordo tem tentado desconstruir o estigma negativo da palavra, que antigamente era usada como xingamento, mas que é apenas um aspecto físico". (SILVA, 2016).

> Atualmente, parece existir apenas um tipo de corpo possível – o corpo magro. Vivemos em uma época de "lipofobia" como denominou Fischler (1995) e que está diretamente associada a uma "obsessão pela magreza, sua rejeição quase maníaca à obesidade" (FISCHLER, 1995, p.15). A sociedade contemporânea, ao valorizar a magreza, transforma a gordura em um símbolo de falência moral, e o gordo, mais do que apresentar um peso socialmente inadequado, passa a carregar um caráter pejorativo, como salientaram os médicos Dr. Peter Brown e Dr.ª Vicki Bentley-Condit3: "Nossa cultura de valorização da magreza transformou a obesidade em um símbolo de falência moral. Denota descuido, preguiça, desleixo, falta de disciplina. Também denota pobreza (…)". E, mais do que isso, passa a ser o que Sant'Anna (1995) denominou de um "corpo desumanizado". (VASCONCELOS, 2004, p. 68)

Em meados dos anos 60 a modelo Lesley Lawson mais conhecida como Twiggy foi a considerada a modelo ideal, com seu corpo extremamente magro e sua beleza andrógina, passou a ser um ícone de beleza a ser seguido, mais tarde em 1966 foi comparada a atriz Marilyn Monroe que era o então ícone de beleza dos anos 50 onde as curvas eram bem mais salientes, descobriu-se que ser magro demais também era inaceitável, remetendo a anorexia ou bulimia. (SILVA, 2016).

Um grande avanço rumo a igualdade de gênero e "empoderamento" feminino denotam mudanças positivas ao corpo, direitos esses, ouvidos e vistos nas plataformas digitais. Algumas *influencers* fazem com que todo tipo de corpo seja visto, tenha voz e autonomia no mundo quebrando o padrão da magreza.

## 2.2 Corpo Gordo e seus estigmas

Júliana Romano, 27 anos, jornalista influencer ativista anti-gordofobia, atua desde 2009 em suas plataformas digitais fazendo suas lives empoderando outras mulheres a não se deixar rotular. A blogueira conseguiu atingir um grande número de seguidores que se identificam com suas idéias contrárias aos valores imposto pela mídia que ferem a auto-estima da pessoa gorda.

Um estudo de Hoff (2010) afirma que a estética europeia ainda prevalece na mídia, assim como o corpo magro, porém pode-se notar a emergência de uma variedade de etnias, como negros, indígenas, asiáticos. Porém, esta diversidade de apresentações não atingiu todos os tipos de corpos, como o da mulher "gordinha".

Não se deve desvincular a moda das mídias. A imagem de moda por si só não chega ao consumidor, é aliada à mídia, e através dela será disseminada. Segundo Castilho (2004, p. 22) "ambas se retroalimentam constantemente, em um ciclo sem fim". Já na definição de Caldas (2004, p. 64) "Cabe a ressalva de que o papel da mídia é fundamental, seja para estabelecer o elo entre indústria e consumidor, seja para as estratégias de comunicação das marcas".

[...] Conforme demonstrou Rocha Coutinho (1995), a construção do sujeito e de sua identidade é uma construção discursiva e, portanto, ideológica, onde várias agências, entre elas a mídia, e atores sociais trabalham para perpetuar esta ordem, "os discursos sociais constroem, refletem e, ao mesmo tempo, servem de suporte para os valores culturais dominantes em um tempo e grupo sociais determinadas." (VASCONCELOS, 2004 p.51).

Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE, o segmento *plus size* está aquecido, tem alta demanda e pouca oferta, pretende-se entender o processo de construção da identidade do indivíduo faz através das mídias. Desde 2013, a indústria brasileira viu no segmento *plus size* a oportunidade de explorar o mercado da moda para esse público, deixando como visão de mercado a palavra inclusão. Partindo da observação acima mencionada, faremos uma breve observação de que enquanto há uma grande parcela de pessoas que estão abaixo do padrão tamanho 44 e que conseguem encontrar suas peças, mais de 50% da população brasileira está acima do peso e não consegue encontrar uma única peça de roupa que realmente a deixe confortável. (SILVA, 2016)

Segundo Castilho e Mesquita (2015), infelizmente não se encontram roupas de tamanhos grandes adequadas na maioria das lojas físicas, que não são específicas para o público *plus.* Com o apelo emergente desse público surgiu a oportunidade mercadológica de um novo nicho de mercado, havendo assim a possibilidade da indústria lucrar ainda mais no mercado da moda expandindo o acesso e sanando a pouca oferta.

O *plus size* deixou de ser um tamanho de roupa para virar um tamanho de corpo, passando a ideia de um novo tamanho, que não é magra, mas, que a sociedade concorda em achar bonito esteticamente deixando a desejar a essência básica da roupa que deixam a pessoa presa por proporções e ergonomia. Então, as marcas de roupas, melhoraram o acesso de diversas pessoas que antes não encontravam peças adequadas. Porém as modelagens ainda são medianas, variando do tamanho 44 até o tamanho 56, e sabe-se que muitas marcas não fazem questão de ofertar tamanhos maiores que o 54, ou seja, ainda há uma imposição de padrão, mesmo que menor, se tornando mais um mecanismo de segregação de regras. (CASTILHO E MESQUITA, 2015)

Ainda para Silva (2016) observa-se que *plus size* mantém e reforça sim um padrão de beleza, na medida em que ele apresenta um corpo ideal higienizado, chapado, sem estrias e sem celulites aparentes, corpo que foi modificado via software. Quanto menos o seu número de *plus size* for mais bonita você é, distorcendo o verdadeiro conceito que a roupa pode trazer para quem procura por essas modelagens.

## 2.3 Resultados

A constituição das sociedades atuais, prezam por padrões praticamente inatingíveis, a beleza outrora tinha caráter subjetivo, e hoje, busca-se uma magreza esquálida,

> Em nenhuma outra época, o corpo magro adquiriu um sentido de corpo ideal e esteve tão em evidência como nos dias atuais: esse corpo, nu ou vestido, exposto em diversas revistas femininas e masculinas, está definitivamente na moda: é capa de revistas, matérias de jornais, manchetes publicitárias, e se transformou em um sonho de consumo para milhares de pessoas, nem que, para isso, elas tenham que passar por intervenções cirúrgicas (plásticas), dietas de todos os tipos (do sangue, da melancia etc) ou exercícios físicos dos mais variados (VASCONCELOS, 2004, p.68).

Neste cenário, encontramos dois caminhos que podem nortear o desenvolvimento da presente pesquisa: o ativismo digital e os processos de construção de identidade e subjetivação do aceitar-se gordo, quebrando o status depreciativo que a palavra possui.

O fato de que mulheres como Jú Romano assumir-se como alguém fora dos padrões, demonstra que sua inquietude também é a de inúmeras pessoas espalhadas pelo mundo, que devido a escassez de ícones positivos travam uma luta diária contra seu corpo e muitas vezes seu bem estar com dietas milagrosas, exercícios e medicamentos que prometem resultados praticamente instantâneos.

O assunto é complexo na medida em que ondas crescentes de intolerância e preconceito vem ganhando adeptos com o avanço das redes sociais, onde ataques virtuais podem destruir com o emocional de pessoas que já possuem sua autoestima baixa, e leva-las a cometer suicídio em casos extremos.

Da mesma forma, o mundo da moda através de um segmento de profissionais antenados com a realidade vigente, passaram a oferecer espaço àqueles que nunca foram lembrados, que estavam a margem do processo por não se enquadrarem nos padrões impostos pela sociedade capitalista. Este processo vem ganhando consistência nos últimos anos, mas ainda é um nicho de mercado que se torna restrito a marcas que desapegaram-se dos padrões e passaram a olhar para o outro lado. Esta tendência mercadologicamente falando pode se constituir como uma “mina de ouro”, cuja exploração pode gerar muito lucro, afinal, em nenhum outro momento se investiu tanto em pesquisa e produção de roupas com qualidade e estilo para pessoas fora do padrão magro.

Em suma, temos um leque de elementos para produzir os desdobramentos da pesquisa, perpassando pela área econômica, pela área técnica da profissão, pelos processos de subjetivação e construção de identidade apresentando o papel das mídias sociais na solidificação destes processos.

## 3.CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve a finalidade de identificar a força do discurso da *influencer* Jú Romano empoderando outras mulheres que se identificam fora de padrões. Ao longo do estudo, foi possível observar que a mídia tenta difundir um padrão de corpo a ser seguido, sem imperfeições e que não corresponde ao público *plus size.* Na contramão a esta ideia de perfeição Jú Romano faz de seu ativismo uma bandeira contra o preconceito atraindo milhares de seguidoras que se identificam com suas ideias e valores.

O estudo destacou que a influencer gera nas pessoas que possuem o biotipo gordo uma libertação da idéia de corpo padrão perfeito disseminado pela mídia. Ainda destaca que despertou um olhar mercadológico da indústria da moda que este é um público específico em potencial a ser explorado. Pode se dizer que Jú Romano empodera outras mulheres positivamente, surgiu através de suas redes um ativismo anti-gordofobia que ganhou representatividade, cara e voz nas mídias sociais.

Contudo, este artigo é o início de um estudo a ser explorado com mais afinco em relação ao corpo gordo, moda e mídia e as mudanças que as plataformas digitais ocasionaram no conceito de segmentação *plus size*.

## 4. REFERÊNCIAS

ANSELMO, Mariana. A revolução plus size começa na Internet. Agosto de 2016. Disponível em: https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/a-revolucao-plus-size-comeca-na-internet/ Acesso em: nov. 2018

CALDAS, Dario. Observatório de sinais: teoria e prática de pesquisa de tendências. http://observatoriodaimprensa.com.br/diretorioacademico/_ed794_o_padrao_de_beleza_imposto_pela_midia/ Rio de Janeiro: Ed. SENAC, 2004. Acesso em: 05 nov. 2018

CASTILHO, Kathia; MESQUITA, Cristiane. Corpo, moda e ética: pistas para uma reflexão de valores. Editora Estação das Letras e Cores. São Paulo, 2015

CASTILHO, Kathia. Do corpo presente à ausência do corpo: moda e marketing. Dissertação [Tese de Doutorado em Comunicação e Semiótica] – PUC, São Paulo, 2004. http://www.ufrgs.br/infotec/teses-03-04/resumo_2495.html. Acesso em 10 nov. 2018

HOFF, Tânia. Corpos emergentes na publicidade brasileira. Cadernos de Pesquisa. ESPM/ Escola Superior de Propaganda e Marketing. São Paulo, 2010.

LIPOVETSKY, Gilles. O império do efêmero: a moda e seu destino nas sociedades modernas. São Paulo: Cia das Letras, 1989.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003

MARCELJA, Karen Grujicic; Oliveira, Merilyn Escobar. De Gordas A Plus Size: Uma Análise Do Discurso Dos Blogs De Moda Especializada. Junho/2015. Disponível em:<https://fundaj.emnuvens.com.br/CAD/article/download/85/1259> Acesso em 25 nov. 2018

MERLINO, Tatiana. Como é ser gorda em uma sociedade que padroniza os corpos femininos? Artigo publicado em #Carta 28/04/2018. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/diversidade/como-e-ser-gorda-em-uma-sociedade-que-pad roniza-os-corpos-femininos> Acesso em: 10 Nov. 2018

SEBRAE. Moda Plus Size: um setor em expansão. http://www.sebraemercados.com.br/moda-plus-size-um-setor-em-expansao/. Acesso em 28 ago. 2017

SILVA, Amanda Prado. O Plus Size Sob A Otica Da Sintaxe Visual. Bacharel em Moda pela Universidade Estadual de Maringá; especialista em Gestão de Negócios do Mercado da Moda, Design e Luxo pela Unicesumar. 2016

VASCONCELOS, Naumi A. de; Iana Sudo; Nara Sudo; Um peso na alma: o corpo gordo e a mídia. Fortaleza, 2004. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1518-61482004000100004> Acesso em 20 nov. 2018

VILLAÇA, Nízia. A edição do corpo: tecnociência, artes e moda. Barueri, SP: Estação das Letras Editora, 2007.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.
The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.

CONIGTI

# Engenharia de Produção: Gestão da Manutenção e da Qualidade

REALIZAÇÃO:

URI ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROCESSO PRODUTIVO FOCADO NA METODOLOGIA DE CONFIABILIDADE DE UMA MÁQUINA GERMINADORA DE GRÃOS

**Anderson Cavalheiro Antonietti**
**Dirceu Jesus Lima da Silva+**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
139956@upf.br; dirceujls@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo:*** *Confiabilidade é a probabilidade de um determinado item, componente, equipamento, máquina ou Sistema, de desempenhar a sua função na condição normal de operação, em um determinado intervalo de tempo. O presente trabalho consiste no estudo da confiabilidade, estabelecendo os modos de falhas relacionados à máquina germinadora do processo produtivo de grãos de malte, que serão utilizados na produção de cerveja. Dando destaque ao trabalho, aplicam-se ferramentas e métodos de muita importância à manutenção industrial, organizando todos os critérios e as bases de dados principais do equipamento. Facilitando assim, que as ações sejam efetivas e atinjam diretamente a causa raiz dos problemas utilizando ferramentas de gestão. Com o desenvolvimento deste trabalho, foi determinado alcançar a excelência nas manutenções, para que seja possível melhorar a confiabilidade da máquina, atuando com segurança nos demais processos, e entregar o produto final com qualidade. Como resultado, será implementado a Manutenção Centrada em Confiabilidade, que organizará os processos, tanto para solucionar as falhas, quanto para otimizar o plano de manutenção.*

***Palavras chave:*** *Confiabilidade; Manutenção Industrial; Modos e Efeitos de Falhas; RCM; Ferramentas de Gestão*

## 1. INTRODUÇÃO

Com o surgimento de novas tecnologias dentro das indústrias, a preocupação com a confiabilidade de um equipamento sobe cada vez mais. Portanto, quando busca-se aumentar a produtividade e reduzir os custos com à produção, é de extrema importância o conhecimento dos conceitos de confiabilidade e disponibilidade do equipamento, seja ele um conjunto ou um subconjunto, para que forneçam todas as condições que atendam as demandas da empresa. Com isso, buscando aumentar a vida útil do equipamento, leva-se em consideração, analisar e detectar todas as possíveis causas fundamentais, intervindo preventivamente para atingir o objetivo esperado pela indústria (FOGLIATTO, 2009).

Para obter essa previsibilidade, o setor de planejamento precisa atuar junto pela confiabilidade. Adotando uma rotina de planejamento, torna-se mais fácil a previsão de gastos com a produção e os ganhos a médio e longo prazo. Dando maior visão a produtividade, apresenta-se uma metodologia que foca na confiabilidade dos equipamentos (KARDEC, 2013).

O objetivo da ferramenta de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é auxiliar durante todos os processos e evitar que as máquinas parem de produzir de forma inesperada. Com isso, também é possível otimizar as rotinas dos técnicos e operadores, para que atuem nas máquinas preventivamente. Busca-se garantir a qualidade na execução e entrega do produto final sem nenhum atraso e ociosidade de mão-de-obra, que podem gerar impactos negativos à indústria. A partir disso, torna-se imprescindível a criação de um plano de manutenção, utilizando com base os parâmetros do equipamento, histórico de falhas e catálogos dos fabricantes (GAIO, 2016).

Com o desenvolvimento desse trabalho, buscou-se aplicar o método do *Reliability Centered Maintenance* (RCM), ou seja, o MCC, em uma máquina germinadora de grãos. Buscando com essa metodologia, alcançar a melhor performance do equipamento durante todo o processo produtivo.

Alguns critérios são de muita importância antes da aplicação da ferramenta de confiabilidade. No entanto, utilizam-se algumas ferramentas de análises e efeitos, que servem para auxiliar e chegar até a decisão lógica do MCC (FOGLIATTO, 2009). Portanto, com base na literatura estudada, foi entendida a importância de cruzar as informações contempladas dos 5 Porquês (causa raiz) com a Fault Tree Analysis (FTA), ou árvore de falhas.

### 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é aumentar a confiabilidade de uma máquina germinadora de grãos que é utilizada para produção de malte, em uma indústria na cidade de Passo Fundo/RS, buscando aumentar a produtividade e reduzir os custos com a manutenção. Para auxiliar o atendimento do objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Reduzir as falhas recorrentes da máquina no processo produtivo;
- Reduzir os custos com manutenções corretivas não programadas;
- Controlar a deterioração natural dos componentes sujeitos a desgaste;
- Reduzir o tempo de transferência, aumentando a eficiência do processo;
- Aumentar a vida útil dos itens com o estudo de Reliability Centered Maintenance (RCM).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com base na literatura, buscou-se estudar a aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade e, utilizando essas bases, pretende-se contemplar estudos voltados ao processo produtivo de grãos.

O fluxograma abaixo ilustra a construção do projeto dado pela Figura 1.

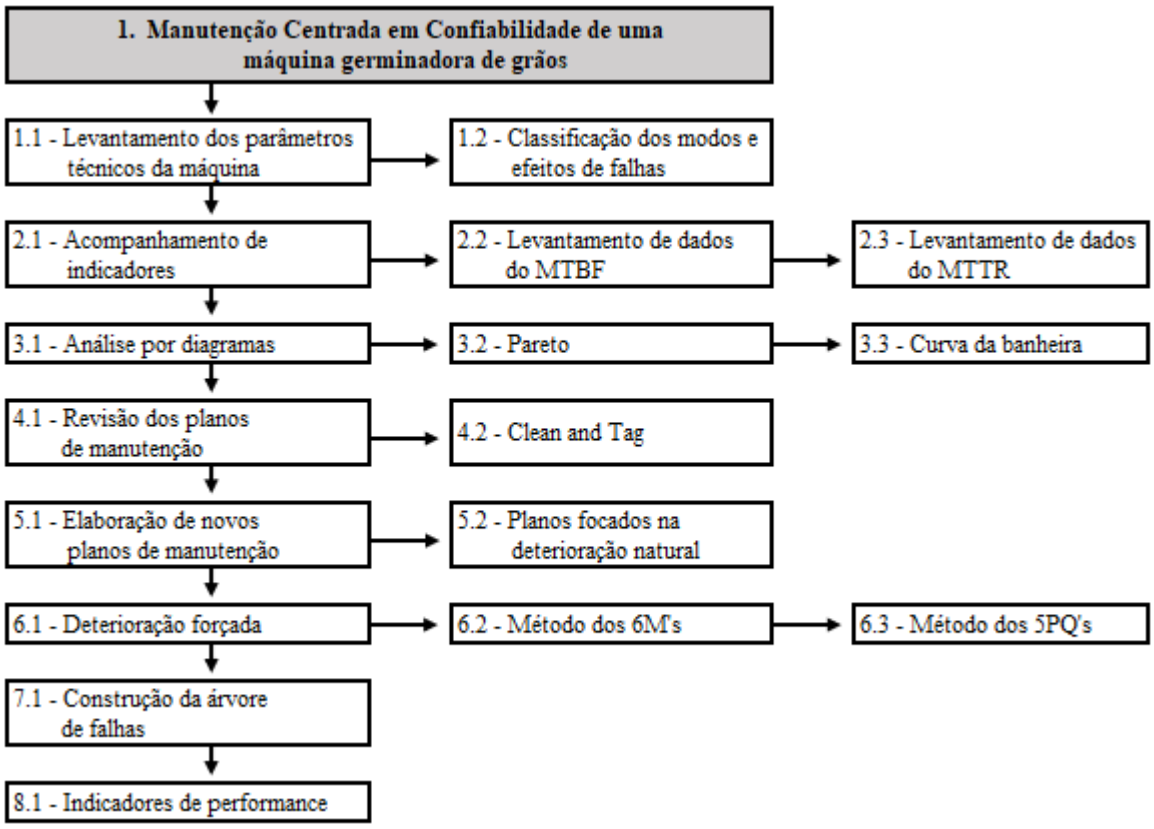



Figura 1. Fluxograma de desenvolvimento do projeto

### 2.1 Conceitos de Engenharia de Confiabilidade

Segundo Silva (2016) nota-se que, o aumento da demanda no mercado industrial trouxe a Engenharia de Confiabilidade mais presente para aperfeiçoar os custos com a produção. Essa área adequou-se com a elaboração do plano de manutenção preventiva, que foi embasada nas análises do equipamento. O autor ainda menciona que, a Engenharia de Confiabilidade, está inteiramente ligada nas probabilidades e estatísticas.

### 2.2 Ferramentas básicas de qualidade

O objetivo das etapas de controle é investigar as causas raízes e propor soluções. Mas isso só pode ser alcançado se for feito uma boa preparação, para que se obtenham os resultados esperados (TRIVELLATO, 2010).

É importante entender o ciclo do PDCA, definindo os objetivos relacionados à produtividade e melhoria na qualidade dos produtos. Assim, para alcançar os resultados que se espera dentro da indústria, faz-se o uso destas ferramentas. Com a orientação de resultados, é passado pela etapa de planejamento, execução e verificação.

### 2.3 Análise de causa raiz com métodos de 5PQ's e pelo diagrama de Ishikawa (6 "M")

Para realizar a implantação de ferramentas de análise de causa raiz, é necessário identificar o problema, seja ele recorrente ou não. Desse modo, analisar a cadeia das causas e entender os meios de falha que apresentam e posteriormente, definir todos os recursos necessários para atuar no problema (NOVARETTI, 2014).

O método de 5PQ's tem como objetivo, simplificar a execução com uma sequência de perguntas, viabilizando as causas raízes dos problemas e priorizando suas soluções (AGUIAR, 2014).

O intuito do diagrama de Ishikawa é, fazer uma investigação e confrontar os dados estabelecidos. O diagrama de causa e efeito, relaciona uma abordagem qualitativa (SCHNEIDER *et al*., 2014). O autor fez uma análise para entender os desvios assimilando os problemas e, posteriormente, melhorar o controle logístico de materiais, embasando os dados pelo método estudado.

### 2.4 *Mean Time Between Failures* (MTBF) ou Tempo Médio Entre Falhas (TMEF)

MTBF é um indicador que mede o tempo das falhas estimando o tempo em que a máquina ou equipamento atua. O indicador mede a média de intervenções (QUEIROZ, 2015).

O objetivo do indicador é estabelecer uma metodologia que possa avaliar, de forma simples e rápida, a efetividade das estratégias de manutenção associadas aos equipamentos (GAIO, 2016).

### 2.5 *Mean Time to Repair* (MTTR) ou Tempo Médio Entre Reparos (TMER)

O MTTR é a medição da disponibilidade das máquinas. Ele indica o tempo médio de intervenção de manutenção necessário para restaurar uma falha em um equipamento, para que este retome em condição normal dentro dos requisitos de segurança e especificações de operação (FOGLIATTO, 2009).

O indicador está relacionado com a capacidade de resolver a falha, em tempo hábil, e de levar a máquina de volta a condição normal de sua operação. Avaliando assim, o grau de sucesso no diagnóstico da falha e de obter habilidades certas disponíveis para reparo (KARDEC, 2013).

### 2.6 *Fault Tree Analysis* (FTA) ou Árvore de Falhas

A técnica para análise de falhas é usada como base nas tomadas de decisões, para análises de risco e confiabilidade dos sistemas. Essa ferramenta, conforme menciona Firmino *et al*. (2004) apresenta os problemas que ocorrem na construção de procedimentos para alcance de excelência e precisão do cálculo de probabilidades. O autor buscou em seu estudo, execuções satisfatórias para tratamento dos problemas.

Na metodologia para mapeamento das falhas, contemplam-se análises de causa e efeito, através de diagramas. Para obter as informações e alimentar o diagrama, a ponta pé inicial vem de reuniões que ocorrem juntamente com os colaboradores de vários departamentos (ALMEIDA *et al*., 2006).

As análises mediante árvore de falhas possuem dois níveis, qualitativa e quantitativa. O intuito principal do FTA é minimizar erros humanos e eliminar falhas redundantes do sistema. Dessa forma, a análise é feita de forma mais complexa englobando o conjunto como um todo (OLIVA *et al*., 2018).

### 2.7 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

O FMEA é uma metodologia que tem como objetivo minimizar os riscos, realizando análises para detectar as possíveis falhas. Desta forma, procura-se encontrar a causa fundamental, o efeito e o risco para cada tipo e, posteriormente, é feito a implantação de ações para aumento a confiabilidade (COSTA, 2013).

É importante utilizar as informações que constam no FMEA, após sua estruturação, pois, ele é uma ferramenta de confiabilidade que auxilia na determinação de estratégias de manutenção. É possível visualizar a confiabilidade e lucros da manutenção, como também, auxiliando nas tomadas de decisões lógicas (GAIO, 2016).

### *2.8* Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Definir as funções e padrões de desempenho de cada equipamento é função base da MCC. Na sequência, é de extrema importância a descrição das possíveis falhas, bem como as análises para atuação das causas e consequências. Posteriormente, objetivando com ações que impeçam ou diminuam suas ocorrências (FOGLIATTO, 2009).

Conforme estudo de Kardec (2013), a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente ao seu propósito especificado, por um determinado período e sob condições ambientais pré-determinadas. Assim, o conceito de confiabilidade se dá por:

- Função: aquilo que o usuário deseja que o item físico ou o sistema faça (verbo + objetivo + padrão de desempenho);
- Modo de falha: qualquer evento que possa levar um ativo (equipamento, subconjunto ou componente) a falhar, estando associado a prováveis causas raízes de cada falha funcional;
- Falha potencial: condição identificável que indica se a falha funcional está prestes a ocorrer ou em processo de ocorrência;
- Falha funcional: incapacidade de o item físico fazer o que o usuário deseja que ele faça;
- Efeito: descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre;
- Causa: motivo pelo qual ocorreu o modo de falha ocasionado pela falha funcional (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A Manutenção Centrada em Confiabilidade dissemina uma abordagem racional e sistemática. Seu objetivo é o nível de excelência nas manutenções com maior previsibilidade de custo. Com uma adequada definição da manutenção, garante que o equipamento, subconjunto ou componente definido, tenha suas funções avaliadas e cobertas por atividades que agregam valor para aumentar a confiabilidade do conjunto (FOGLIATTO, 2009).

Toda falha tende a seguir uma progressão na degradação de seus componentes. Portanto, por mais rápida que seja esta progressão, existe um intervalo entre o início da degradação (falha funcional) e a falha gerada por esta degradação. Desta forma, existe a possibilidade de detectar uma degradação antes de gerar a falha funcional. O que evita paradas de linhas, relacionadas à produção, saúde ocupacional e segurança (GAIO, 2016). Cada técnica ou método apresenta diferentes abordagens, o que faz com que sua capacidade de detecção varie com o tempo. O objetivo é manter a performance, evitando quebras e aumentando a vida útil ainda mais de seus componentes.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente estudo trata-se de uma análise de causas e efeitos. Será utilizado o estudo do RCM, bem como sua aplicação. Para isso, é feito uma revisão altamente estruturada, de um sistema que foca a preservação das funções do item e do equipamento, que será focada na deterioração natural dos componentes. Com fatos e dados, o estudo se embasa pelos modos de falha e pelo histórico do equipamento. Posteriormente, é feito uma análise para definir a correta periodicidade do plano de manutenção, otimizando rotinas e viabilizando os custos com à produção e manutenção.

Foi montado o diagrama de blocos, ilustrado pela Figura 2 funcionais da máquina de germinação. Com ela foi possível estabelecer os modos de falha juntamente com os parâmetros técnicos do fabricante.

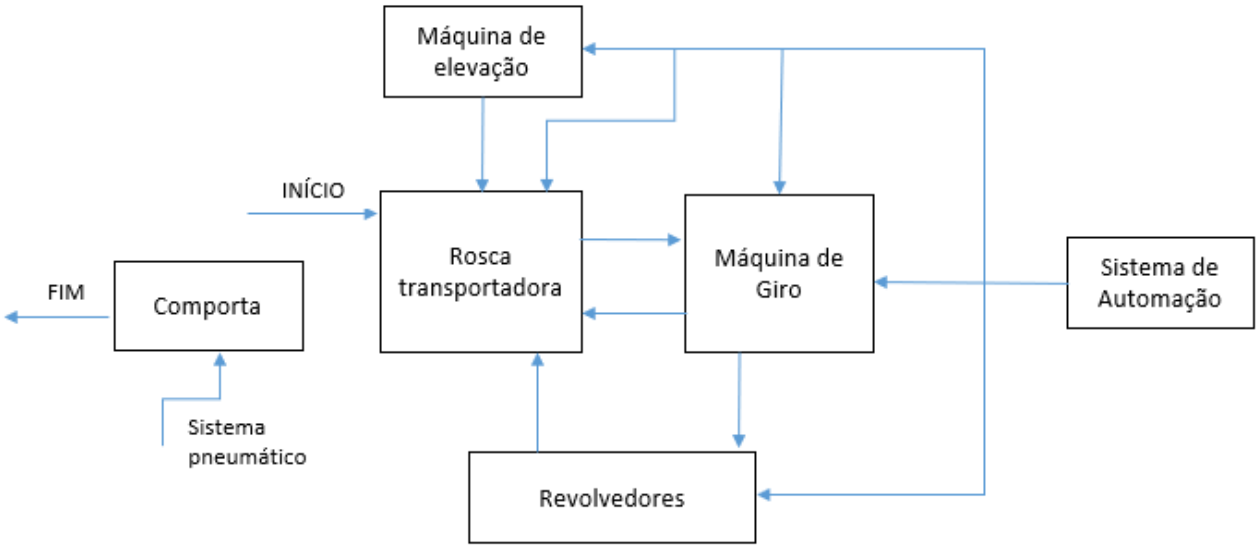



Figura 2. Diagrama de blocos da máquina germinadora de grãos

A classificação dos modos de falha para cada item, foi definido pelo método do FMEA, onde pode ser visualizada no Quadro 1. Foi utilizado os parâmetros técnicos do fabricante e cruzado com o histórico do equipamento.

| FMEA | | | |
|---|---|---|---|
| **Área / Subárea:** | **PROCESSO DE GERMINAÇÃO** | | |
| **Equipamento:** | **MÁQUINA DE GERMINAÇÃO** | | |
| **Nível 1: Equipamento** | **Nível 2: Sistema** | **Nível 3: Conjunto / Item** | **Nível 4: Modo de falha** |
| Máquina de germinação | Sistema de elevação | Motor | Desgastes dos rolamentos |
| | | Redutor | Desgastes dos rolamentos e das engrenagens |
| | | Freio | Desgastes de pastilhas |
| | | Guia | Perda de lubrificação |
| | | Mancais | Perda de lubrificação |
| | | Engrenagem | Perda de lubrificação |
| | Sistema de rotação | Motor | Desgastes dos rolamentos |
| | | Redutor | Desgastes dos rolamentos e das engrenagens |
| | | Cremalheira | Fadiga do material e perda de lubrificação |
| | | Inversor de frequência | Perda de parâmetros |
| | | Rodas de sustentação | Desgaste do rolamento e perda de lubrificação |
| | Rosca transportadora | Motor | Desgastes dos rolamentos |
| | | Redutor | Desgastes dos rolamentos e das engrenagens |
| | | Mancais | Perda de lubrificação |
| | | Corrente | Perda de ajuste |
| | | Soft Starter | Perda de parâmetros |
| | | Rolamento | Perda de lubrificação ou desgaste |
| | Revolvedores | Soft Starter | Acúmulo de sujidades |
| | | Rolamentos dos helicóides | Perda de lubrificação |
| | | Motores | Desgastes dos rolamentos |
| | | Engrenagens | Perda de lubrificação |
| | | Redutores | Desgastes dos rolamentos e das engrenagens |
| | Comporta | Lubrifil | Perda de lubrificação |
| | | Funil | Sujidades |
| | Automação | Sensores de posição | Desgastes nos contatos elétricos |
| | | Linha de vida de segurança | Úmidade nos componentes elétricos |
| | | Caixa de passagem elétrica | Úmidade nos componentes elétricos |
| | | Transmissores de temperatura | Perda de calibração |

Quadro 1. Estrutura do FMEA para classificação dos modos de falha de cada item da máquina germinadora

O RCM é um estudo complexo e envolve análises para performar o equipamento. Com a metodologia desenvolvida e posteriormente aplicada, foi possível otimizar a mão-de-obra dos técnicos e operadores.

Na atuação da limpeza profunda durante a aplicação do RCM, foi possível buscar resultados que serviram como piloto na classificação da árvore de falhas. Além disso, foi possível revisar os procedimentos e focar em planos de manutenção para a deterioração natural dos equipamentos, que podem ser visualizados pela Figura 3.

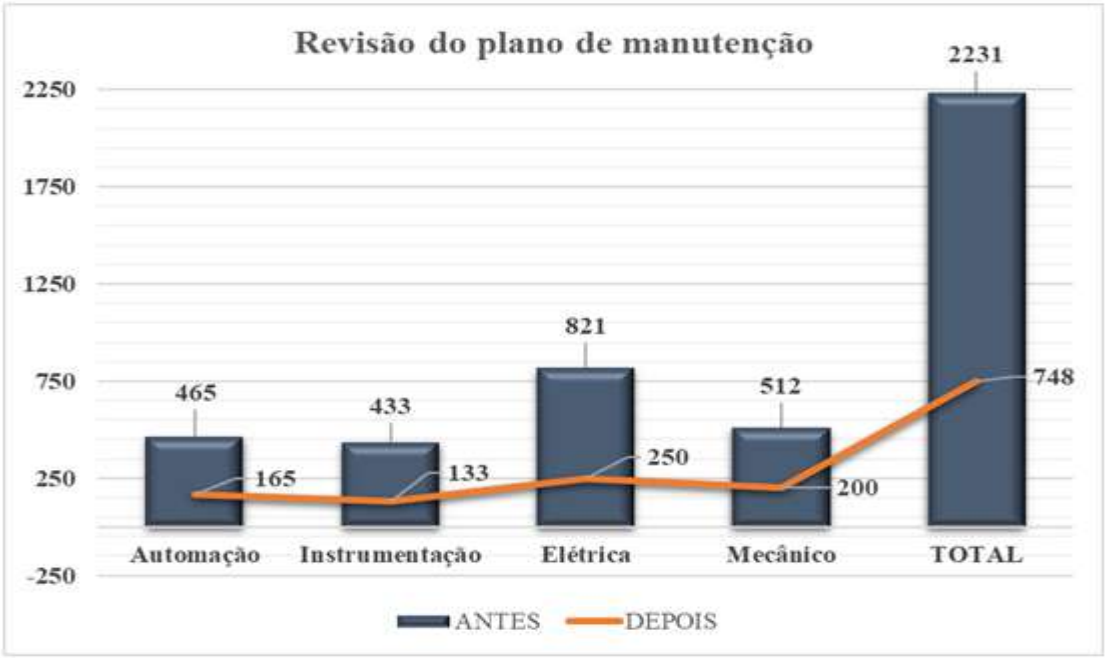



Figura 3. Revisão dos planos de manutenção

## 4. CONCLUSÕES

Com o mapeamento dos principais modos de falha é possível elaborar uma estratégia de periodicidades adequada a vida útil dos componentes. É importante ressaltar que o plano de manutenção é dinâmico e os aprendizados devem servir para otimizá-lo, tornando-se mais eficiente em termos de precisão, na identificação dos principais modos de falha e na redução de custos para a indústria.

Conclui-se com a aplicação do RCM que a definição de um comitê de manutenção, formado por especialistas, torna-se imprescindível para agir na causa das falhas, buscando a confiabilidade do equipamento e evitando possíveis anormalidades na produção.

Através do método dos 5 porquês, foi possível encontrar as lacunas que afetaram o desempenho durante o processo. Esse método consiste em fazer perguntas, de forma sistêmica, utilizando cinco vezes os porquês, até identificar a causa fundamental de um problema. Um exemplo utilizado pelo método dos 5 porquês pode ser visualizado abaixo:

1. Por que a máquina parou? Aconteceu uma sobrecarga na máquina.
2. Por que aconteceu uma sobrecarga? O rolamento estava com excesso de lubrificação.
3. Por que ele estava com excesso de lubrificação? A periodicidade do plano estava diferente das especificações do fabricante.
4. Por que as especificações estavam diferentes do fabricante? Parâmetros divergentes e check list desatualizado.
5. Por que estava desatualizado? Não foi revisado o plano de manutenção.

Na revisão e otimização dos planos, foi possível observar uma redução de planos ineficientes para focar na deterioração natural, obtendo como resultado, a valorização de novos planos de manutenção e liberação de HH técnico para pensar estrategicamente na gestão da manutenção. Essa revisão, tomou como base os métodos da espinha de peixe (6M's) e o método dos 5PQ's.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. C. "Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação". 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ALMEIDA, D. A. de; LEAL, F; PINHO, A. F. de; FAGUNDES, L. D. "Gestão do conhecimento na análise de falhas: mapeamento de falhas através de sistema de informação". Produção, v. 16, n. 1, p. 171-188, jan./abr. 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132006000100014.

COSTA, M. de A. "Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional". 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FIRMINO, P. R. A.; MOREIRA, P. I. C.; CHIKUSHI, R. T. M.; DROGUETT, E. L. "Métodos para a remoção de redundâncias de árvores de falhas". *In:* XXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2004. Florianópolis, SC, 2004.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. "Confiabilidade e manutenção industrial". 1. ed. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier, 2009.

GAIO, E. D. "Proposta de um plano de manutenção de um equipamento industrial através da utilização de ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade". 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2016. <http://www.ufjf.br/mecanica/files/2016/07/Monografia-FINAL-Revisada.-8-12-16Evandro-Gaio.pdf>

KARDEC, A.; NASCIF, J. "Manutenção preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial". 1. Ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2013.

NOVARETTI, M. C. Z. "Aplicação da análise causa raiz como ferramenta na gestão de segurança hospitalar". Revista de Administração da UFSM, Santa Maria, v. 7, n. 3, p. 442-452, set. 2014. DOI: 10.5902/1983465916272

OLIVA, J. de J. R.; LLANES, J. S.; VALLE, A. T.; OJEDA, M. P. "Avaliação de árvores de falhas mediante uma planilha EXCEL". Revista de Ingeniería Energética, v. 39, n. 1, p. 56-61, jan./abr. 2018. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3291/329158888008/html/index.html>.

QUEIROZ, L. M. dos A. "Planejamento e controle da manutenção aplicados ao processo de manufatura no ramo alimentício". *In:* XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015. Fortaleza, CE, 2015. <http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_stp_206_224_28460.pdf>.

SCHNEIDER, M. D.; VIEIRA, A. C. P.; ZILLI, J. C.; SCHUTTS, C. M. "Diagrama de causa-efeito de Ishikawa: estudo do fluxo logístico em um comércio de materiais de construção". XV Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão – Programa de Pós-Graduação em Administração UCS. <http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/mostraucsppga/xvmostrappga/paper/viewFile/4171/1407 Acesso em mar./2019>.

TRIVELLATO, A. A. "Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa de autopeças". 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DE CASO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM TRÊS EDIFICAÇÕES DISTINTAS

**Autora: Daiane Waskievic**

**Segundo Autores (as):**

**Débora Brunhera**

**Jonatan Ferreira**

**Morgana Paula Zangrande**

**Prof ª. Drª. Cristina Vitorino da Silva**

*URI - Universidade Regional Integrada, Disciplina de Patologia das Construções, Curso de Engenharia Civil – E.C. Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS.*

*E-mail para Correspondências: : daii_wkc@hotmail.com, deborabrunhera@hotmail.com, jonatan.ferreira@live.com, morgana.zangrande@outlook.com.*

***Resumo.*** *Este trabalho tem como objetivo descrever duas manifestações patológicas encontradas em três diferentes edificações, entre as quais se destacam as fissuras, manchas, eflorescências, corrosão da armadura e deterioração da estrutura de concreto armado. Tento como propósito fazer um estudo e analisar as manifestações patológicas encontradas em edificações visitadas, apontando um diagnóstico correto e ágil para resolver os problemas, sem causar danos a estrutura e as características de desempenho pelas quais o edifício fora construído. As manifestações patológicas podem ocorrer muito antes do previsto em projeto, fazendo com que a estrutura tenha redução da sua durabilidade, afetando os parâmetros de segurança da construção. Essas manifestações podem ter origem em qualquer etapa do processo construtivo, desta forma, é necessário realizar manutenções preventivas. Antes de realizar a correção do problema, é fundamental que seja estudado causa que provocou tal manifestação patológica para depois fazer a recuperação. Entretanto, conclui-se que é de suma importância a realização de medidas preventivas na fase de projeto, o cuidado na execução e contratação de profissionais habilitados para menos desperdícios de materiais e custos financeiros.*

***Palavras chave****: Manifestações patológicas. Causas. Recuperação.*

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica dos materiais de construção e das técnicas de projeto e execução, foram fatores que contribuíram para o declínio da qualidade na construção civil, e do aumento do número das patologias nas construções. Com isso, as edificações tornaram-se mais leves, com componentes estruturais mais esbeltos e mais solicitados (SILVA E JANOV, 2016).

A patologia se resume ao estudo da identificação das causas e dos efeitos dos problemas encontrados nas edificações, elaborando seu diagnóstico e correção. Um diagnóstico adequado de uma manifestação patológica deve indicar em que etapa do processo construtivo teve origem o fenômeno que desencadeou o problema, podendo constar as possíveis correções.

Segundo Capello *et al.* (2010), a origem das patologias pode ocorrer: de projetos mal feitos, da má qualidade dos materiais empregados na construção, da falta de controle tecnológico, principalmente relacionado ao concreto, da falha na etapa de construção, equipe sem preparação para execução de projetos mais elaborados, falta de

fiscalização por parte dos gestores ou responsáveis pela execução do empreendimento, edificações sendo utilizadas para outros propósitos do que o inicial.

Este trabalho tem como objetivo abordar as manifestações patológicas mais comuns, observadas em três edificações diferentes, estudar as causas e elencar as formas de soluções a serem aplicadas.

## 2 METOLODOGIA

O presente estudo ateve-se a análise de três edifícios. Preliminarmente na etapa de coleta de informações, buscou-se identificar duas manifestações patológicas de fachada e ou revestimento que ocorreram nos edifícios estudados.

A pesquisa foi embasada na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) ou Problem-Based Learning (PBL), como é conhecida internacionalmente, é uma metodologia de ensino-aprendizagem da qual a apresentação de uma situação-problema, é utilizada para motivar o estudo e a busca pelas informações de conceitos, causas e soluções (GONTIJO; SILVA, 2015).

Através de visitas nas edificações, conversas com os proprietários, análise empíricos do tipo de solo, fatores climáticos e idade da obra, relacionou-se as diferentes manifestações que cada edifício apresentou, foi estudado e apresentado as causas e possíveis soluções para cada um deles.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os edifícios encontrados são provenientes de obras públicas e também obras residenciais/privadas. Em todas foram apontadas as manifestações patológicas, em como, suas causas e possíveis meios para solucionar os problemas.

### 3.1 Edificação 01

A edificação 01 (figura 1), trata-se de um prédio de cinco andares e está situada na cidade de Erechim/RS, com idade de sete anos, as manifestações que foram identificadas nela são fissuras de retração por secagem e eflorescência.

Figura 1: Manifestações patológicas - Edificação 01.



Fonte: Autor, 2019.

#### 3.1.1 Fissuras de retração por secagem

A retração do concreto pode gerar fissuras e rachaduras. Nestes casos é necessário realizar a cura eficiente no acabamento final de uma estrutura de concreto. A retração é o processo de redução de volume que ocorre na massa de concreto, ocasionada principalmente pela saída de água por exsudação (retração plástica e por secagem ou hidráulica).

- Causas

Ocorre pela perda de água do concreto por exsudação, em seu estado endurecido. Este processo é acelerado pela exposição de sua superfície às intempéries como vento, baixa umidade relativa do ar e aumento da temperatura ambiente.

- Soluções

Utilizar aditivos aceleradores de pega que promove o ganho de resistência da pasta e diminuem a retração; precauções na composição da mistura, utilizar maiores teores de agregado graúdo e maior relação A/C, por exemplo, são favoráveis à menor incidência de retração; a cura consiste em proporcionar umidade e temperatura adequadas, de modo a prevenir a perda de umidade da pasta.

### 3.1.2 Eflorescência

A eflorescência é definida como depósitos cristalinos de cor branca, que surgem na superfície do revestimento, como piso, paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas. Basta apenas que a umidade atinja o local para que a eflorescência ocorra, já que nos materiais é de sua natureza conter sais solúveis. Os sais solúveis que dão origem às eflorescências podem ter várias origens, dentre elas as matérias primas, os materiais de construção, a água existente no subsolo, etc (SILVA, 2011).

- Causa

Presença de sais solúveis, ação da água, força que possibilita a movimentação da água e sais, porosidade do elemento, temperatura, poluição atmosférica, formação do sal expansivo por ação do sulfato do meio, entre outras.

- Soluções

Esperar a estabilização antes de efetuar concertos, reparar com o uso de cimento isento de sulfatos.

## 3.2 Edificação 02

A edificação 02 (figuras 2, 3 e 4), trata-se de uma casa térrea, localizada na cidade de Erechim, com idade de 30 anos. E as manifestações patológicas apresentadas nela são: fissuras de recalque de fundações e umidade.

Figura 2: Manifestações Patológicas Edificação 02.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 3: Manifestações Patológicas Edificação 02.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 4: Manifestações Patológicas Edificação 02.



Fonte: Autor, 2019

### 3.2.1 Fissuras de recalque de fundações

Quando as deformações são diferenciadas ao longo do plano das fundações de uma obra, uma grande intensidade de tensões é aplicada na estrutura, podendo gerar as trincas.
MAGALHÃES, (2004) ainda destaca que:

> Fissuras por recalque de fundações segundo um eixo principal ocorrem quando o recalque diferencial das fundações se aplica sobre um dos eixos de simetria da edificação (supondo que exista). Neste caso, todas as paredes afetadas estarão solicitadas, preponderantemente, por esforços de flexão, e o seu sistema de fissuras seguirá o modelo teórico de flexão, acompanhando as isostáticas de compressão, como em uma viga (MAGALHÃES, 2004).

- Causas

Carga de trabalho superior à carga admissível do solo ou de camadas inferiores do solo, falta de homogeneidade do solo, rebaixamento do lençol freático ou incorporação de água em terrenos, influência de cargas de entorno e vizinhança, condições diferenciadas de apoio e carga, como prédios de altura variável ou uso de diferentes tipos de fundações, erosão, escavação ou falha no subsolo, influência de vegetação ou tubulação adjacente, congelamento, inundações, vibrações, ou mesmo, terremotos. Mais precisamente nesse caso, havia sido feito uma escavação no terreno vizinho, contendo vibrações e movimentação do solo, desta forma, ocasionando o recalque, e também, a edificação estudada fora submetida a esforços de torção e surgiram as fissuram em duas direções como mostra a figura 3.

- Soluções

O reparo deve ser reconstituir toda a estrutura, mantendo uma ação corretiva, estabelecer planos de ação, e refazer a parte afetada.

### 3.2.2 Umidade por capilaridade (ascendente)

A umidade é um meio necessário para o surgimento de patologias como: bolores, mofos, eflorescências, danos na pintura e reboco e em casos mais graves pode ocorrer problemas estruturais.

Segundo VERÇOZA (1991), as formas de origem de umidade são: devido a construção, por capilaridade (ascensional), devido à chuva, devido a vazamentos em sistemas hidráulicos e a condensação em ambientes com pouca ventilação.

Segundo os autores KLEIN (1999) e VERÇOZA (1991), a umidade devido a construção, encontra-se nos materiais utilizados na construção e na água utilizada para fabricar concretos, argamassas e na pintura.

A umidade ascendente consiste subida da água na parede por seus poros, vinda de um local úmido que é o solo. Essa migração da água para níveis superiores é chamada de capilaridade, poros mais finos facilitam a subida da água. A umidade do solo pode provocar problemas de umidade em paredes, subsolos e pavimentos térreos (VERÇOZA, 1991).

- Causas

A grande maioria dos matérias de construção civil tem porosidade elevada, permitindo que a umidade possa migrar com facilidade entre os elementos da alvenaria, bem como a falta de barreira física ou química para a proteção da parede (VERÇOSA, 1991).

- Soluções

Para evitar que esses problemas ocorram deve se fazer uma correta impermeabilização da viga baldrame que está em contato com o solo utilizando materiais adequados e correta execução.

Dentre os tipos de impermeabilização temos a rígida que é composta por cimentos poliméricos ou resinas termoplásticas e a flexível com componentes de base epóxi ou asfalto com aplicação usando maçarico ou aquecimento em alta temperatura para os de base epóxi utilizado solventes para sua diluição. Muito comum a utilização de argamassa polimérica e manta asfáltica (RODRIGUES; SOBRINHO; LIMA, 2016).

## 3.3 Edificação 03

A edificação 03 (figuras 5, 6, 7 e 8), trata-se de uma Unidade Básica de Saúde, localizada na cidade de Campinas do Sul, com idade de 10 anos. E as manifestações patológicas apresentadas nela são fissuras de mapeamento e infiltração e deterioração do revestimento.

Figura 5: Manifestações Patológicas Edifício 3.



Fonte: Autor, 2019

Figura 6: Manifestações Patológicas Edifício 3.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 7: Manifestações Patológicas Edifício 3.

Figura 8: Manifestações Patológicas Edifício 3.



Fonte: Autor, 2019.



Fonte: Autor, 2019.

### 3.3.1 Fissuras por mapeamento e fissuras de movimentações térmicas

As figuras 5 e 6 mostram fissuras mapeadas e fissuras de movimentações térmicas de uma obra onde não foi acabado a pintura. A manifestação está presente sobre boa parte da superfície do revestimento.

Grandisk, 2010, fala que as fissuras mapeadas (também chamadas de disseminadas) podem ser formadas por retração das argamassas, por excesso de finos no traço ou por excesso de desempenamento. No geral elas tem forma de "mapa" e, com frequência são aberturas superficiais.

Thomaz, (1989) ainda diz que para meios porosos como os revestimentos de argamassa, uma das causas de fissuração é a ocorrência de ciclos de molhagem e secagem provenientes da exposição à chuva e insolação, o que provoca o inchamento e retração do revestimento. A restrição a movimentação higroscópica acarreta a fissuração.

Segundo Casotti (2013), as fissuras originadas por movimentações térmicas, só ocorrem devido a oscilação de umidade (água) presente nos elementos de fabricação da argamassa. As variações no teor de umidade provocam movimentações de dois tipos: irreversíveis e reversíveis. As movimentações irreversíveis são aquelas que ocorrem logo após a fabricação do material e originam-se pela perda ou ganho da água, até que se atinja a umidade de equilíbrio do material fabricado. As movimentações reversíveis ocorrem por variações do teor de umidade do material.

Grandisk, 2010, lembra que a NBR 7200:1998 é a norma geral de execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas, e indica os intervalos mínimos de execução entre cada etapa do trabalho. A norma diz que, entre a execução da estrutura de concreto e a alvenaria, é preciso esperar pelo menos 28 dias. Atualmente esses prazos costumam ser desobedecidos devido aos prazos de entrega dos edifícios serem reduzidos, daí resultando em trincas e fissuras.

Ainda Grandisk (2010), diz ser muito comum observarmos em edifícios fissuras causadas por origens higrotérmica. Elas são resultantes dos pontos de contato de materiais que apresentam simultaneamente coeficientes de dilatação térmica diferentes, e diferentes dilatações provocadas pela maior ou menor absorção de água. Esse fato se faz presente devido ao contato entre as estruturas de concreto armado e as alvenarias, quando passam por ciclos de recebimento de sol e chuva. Esse fenômeno é bastante evidente nos últimos andares dos edifícios, quando a pintura da fachada perde sua capacidade hidrofugante.

- Causas

Na manifestação patológica analisada a causa provável, seja um conjunto das ideias citadas acima e possível relação água/cimento superior ao indicado, somadas a falta da última camada de acabamento que deixa a superfície mais exposta as intempéries e por consequência mais vulnerável, mas principalmente devido ao coeficiente de dilatação térmica diferente entre alvenaria e concreto armado, onde percebemos as maiores concentrações de fissuras no caso estudado, além da falta de verga e contraverga nas aberturas, que acabam causando um acumulo de tensões nas extremidades das aberturas e por consequência início de fissuras, que percorrem a partir deste ponto.

- Soluções

A correção desta manifestação seria a retirada do revestimento, limpeza da superfície e execução das camadas de revestimento com relação água/cimento correta, atendendo o tempo de cura de cada camada, execução de juntas de dilatação, colocação de telas metálicas na ligação da alvenaria com o concreto armado, com atenção nas superfícies de maior altura, execução de verga e contraverga nas aberturas e finalizar com a pintura da superfície com tinta indicada para superfícies externas.

### 3.3.2 Infiltração e deterioração do revestimento

As figuras 7 e 8 evidenciam manifestações causadas pela umidade. As infiltrações causam danos visíveis. Dentro do corpo da obra, as mesmas danificam a estrutura, causando a deterioração da argamassa e podem ocasionar danos ainda maiores, como por exemplo corrosão na estrutura metálica.

- Causas

As causas são decorrentes da infiltração do solo, uma vez que, toda parte externa da obra é coberta por solo.

- Soluções

A solução provável é eliminar o contato entre a parede e o solo úmido, para garantir que o problema não reapareça com o tempo. Existem argamassas impermeabilizantes no mercado que podem resolver, mais especificamente, a umidade por capilaridade, também podem ser utilizados produtos hidrofugantes como pinturas ou aditivos adicionados á argamassa comum.

É necessário remover todo o revestimento da parede e aplicar o produto direto sobre a alvenaria. A aplicação pode ser tanto pelo lado interno quanto externo do ambiente, após refeito o cobrimento, respeitado o prazo de cura da argamassa e refeita a pintura para evitar que ocorra novamente a manifestação patológica.

## 4 CONCLUSÃO

Através dos estudos levantados, conclui-se que, na maioria das vezes, as manifestações patológicas estão associadas aos componentes dos materiais empregados e à técnica construtiva, o que reflete na inaptidão dos profissionais que lidam com o assunto e a falta de cuidado na preparação e aplicação do material. Vale ressaltar também, a importância da manutenção, assim que as manifestações começarem a aparecer. Por meio do diagnóstico são apontadas as origens do problema, as causas precisas, os fenômenos e seus mecanismos de ocorrência. Compreendida a situação, o patologista está capacitado a definir a conduta a ser seguida com relação ao problema.

## 5 REFERÊNCIAS

CASOTTI, Denis Eduardo, 2007. **Causas e recuperação de fissuras em alvenaria**. Universidade de São Francisco. Disponível em: http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1061.pdf. Acesso em 18 de maio de 2019.

GONTIJO, Fábio; SILVA John. **Aplicação do Método Aprendizagem Baseada em Problemas ao curso de Engenharia Civil**. Centro Universitário de Patos de Minas. Patos de Minas, 2015.

GRANDISK, Paulo, 2010. **Instituto brasileiro de avaliações e perícias de engenharia**. Disponível em: http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/trinca-ou-fissura-como-seoriginam-quais-os-tipos-285488-1.aspxl>. Acesso 15 de maio de 2019.

**Identificação dos fatores que provocam eflorescência nas construções em angicos/rn** – Isabelly Tatiane dos Santos Silva – 2011 – Mamografia https://pointer.com.br **– acesso em 09 de maio de 2019.**

KLEIN, D. L. **Apostila do Curso de Patologia das Construções**. Porto Alegre,1999 - 10° Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias.

MAGALHÃES, E. F. **Fissuras em alvenarias**: configurações típicas e levantamento de incidências no Estado do Rio Grande do Sul. 2004. 177 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

Monografias Brasil Escola – **Principais manifestações patológicas encontradas em uma edificação.** Disponível em: https://monografias.brasilescola.uol.com.br/engenharia/principais-manifestacoes-patologicas-encontradas-em-uma-edificacao.htm> - acesso em 14 de abril de 2019.

RODRIGUES, R.; SOBRINHO JÚNIOR, A.; LIMA, E. E. **Erros, diagnósticos e soluções de impermeabilização na construção civil**. Revista InterScientia, v. 4, n. 2, p. 19-33, Porto Alegre, 2016.

THOMAZ, Ercio. Trincas em edifícios – **Causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Editora Pini, 1989.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.

## 6 NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROBLEMAS RELACIONADOS A CONSERVAÇÃO EM ALAMBIQUES NA PRODUÇÃO ARTESANAL DE CACHAÇA

**Raul José dos Santos Michel Junior**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus São Luiz Gonzaga, Rua José Bonifácio, 3149, São Luiz Gonzaga, RS
e-mail: raulmichel56@yahoo.com.br

**Jessica Andrade Michel**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus Erechim, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Câmpus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS
e-mail: arq.jessicamichel@gmail.com

***Resumo:*** *O alambique é um equipamento usado na destilação de várias bebidas alcoólicas, incluindo a aguardente vínica, o bagaço e a cachaça. O processo de destilação gerado por este equipamento é simples, utilizado desde tempos remotos na alquimia. O alambique tradicional é feito em cobre, embora, atualmente também seja possível encontra-lo em vidro e aço-inox. No decorrer do tempo, verificou-se problemas recorrentes nestes equipamentos, que por sua vez são transferidos para os destilados, alterando assim sua constituição. Ao longo deste artigo, são elencados alguns problemas que ocorrem em alambiques tradicionais. Os equipamentos selecionados por este estudo apresentaram problemas entre os anos de 2014 e 2015, e foram levados até empresa Limana Poliserviços para manutenção. Concluiu-se que o problema estudado, não teria sua solução com a mera substituição dos recipientes de cobre pelos de outros materiais como os de aço-inox, em virtude da interferência direta nas características químicas e na qualidade sensorial da cachaça. Também foi possível verificar que uma postura mais exigente do próprio produtor rural com relação a higienização do equipamento pode levar tanto a uma maior durabilidade do equipamento, quanto a obtenção de um produto com mais qualidade.*

***Palavras chave:*** *Alambiques, Cachaça, Conservação*

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo (Cavalcante, 2011), às bebidas alcoólicas são consumidas desde os primórdios da civilização, sendo as evidências mais antigas dessa afirmativa, jarras contendo resíduos de uma bebida fermentada feita com arroz, mel, uva e frutos de pilriteiro, encontradas em sepulturas no norte da China, datadas de 7.000 - 6.600 a.C.

A cachaça, bebida feita da fermentação e destilação do melaço proveniente da cana-de-açúcar foi descoberta pelos escravos dos engenhos de açúcar em meados do século XVI. Era considerada uma bebida de baixo status perante a sociedade, pois era consumida apenas por escravos e brancos pobres, enquanto a elite brasileira da época preferia vinhos e a bagaceira (aguardente de bagaço de uva), trazidos de Portugal. (BOZA, Y.; HORII, J, 2000).

A aguardente de cana é a terceira bebida destilada mais consumida no mundo e a primeira no Brasil. Segundo o Programa Brasileiro de Desenvolvimento da Aguardente de Cana, Caninha ou Cachaça (PBDAC), a produção é em torno de 1,3 bilhão de litros por ano, sendo que cerca de 75% desse total é proveniente da fabricação industrial e 25%, da forma artesanal. (MAPA 2002).

A produção de cachaça artesanal ou de alambique está concentrada nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Bahia e São Paulo, sendo que os estados mineiro e fluminense contribuem com quase 50% de toda a produção de cachaça de alambique do Brasil. (MAPA 2002). Estima-se que existam por volta de 40 mil produtores de cachaça artesanal no Brasil. (MAPA 2002).

O processo artesanal é realizado por batelada, em pequenos volumes, em destiladores denominados "alambiques", geralmente de cobre. Já no processo industrial, a destilação é feita de forma contínua, em equipamentos denominados colunas de destilação, nos quais o volume de produção é maior e com fluxo constante (FEITOSA, 2005).
O alambique é um equipamento usado na destilação de várias bebidas alcoólicas, desenvolvendo um processo de destilação simples. Este equipamento é formado por uma caldeira conectada, por um tubo, a uma serpentina de resfriamento, ao fundo da qual se recolhe o destilado. Embora o alambique tradicional seja feito de cobre, também existem em vidro e aço-inox.
Com o passar do tempo, este equipamento acaba apresentado alguns problemas, que por sua vez são transferidos para os destilados alterando sua constituição. No decorrer deste estudo são demonstrados os principais problemas que ocorrem em alambiques artesanais e suas causas.

### 1.1 Níveis de cobre nos destilados

Pela legislação brasileira o limite de teor de cobre em bebidas destiladas está fixado em $5mgL^{-1}$. No entanto, em se tratando de mercado mundial a legislação não permite mais que 2 mg $L^{-1}$ de cobre nos destilados alcoólicos (Boza, Yolanda; Horii, Jorge, 2000). Ainda que nestas faixas de concentração o cobre não possa ser considerado como tóxico, sua presença ressalta o sabor ácido na bebida, e a presença de íons cobre II, facilita os processos oxidativos (Boza Yolanda; Horii, Jorge, 2000).
O teor de carbamato de etila ($EtOCONH_2$) ou uretana é um composto potencialmente carcinogênico (Andrade-Sobrinho, L.G.De.; Boscolo, M.; Neto, B. Dos S.L. e Franco, D.W, 2002), e quando presente nos destilados, está associado ao uso de cobre em alambiques.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo foram selecionados alambiques que chegavam na fábrica Limana Poliserviços, nos anos de 2014 e 2015. A fábrica presta assistência a pequenos produtores de cachaça artesanal e está localizada no município de Jaguari-RS. Este município destaca-se no cenário estadual devido a quantidade de produtores artesanais de cachaça, que de acordo com levantamento realizado pela empresa, no ano de 2015, eram cerca de 300 pequenos produtores de cachaça de alambique.
Como procedimento inicial, ao chegar à empresa, todos os alambiques foram fotografados antes do conserto. Em alguns casos somente o problema principal que afetava o equipamento foi levado a conclusão do serviço, sendo que os demais problemas não foram resolvidos de maneira total.
Após a etapa inicial os alambiques foram classificados conforme os danos apresentados, sendo danos internos e externos. Os problemas externos são aqueles que atacam especialmente a pintura, queimaduras, amassamentos etc. Normalmente estes problemas não afetam o aspecto sensorial da cachaça. Já os problemas internos são os mais graves podendo afetar aspectos sensoriais da cachaça e em muitos casos tornar esta bebida imprópria para o consumo, como é o caso do excesso de íons cúpricos causados pelo azinhavre substância esverdeada que afeta os padrões das cachaças.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na sequência são demonstradas em fotos os vários problemas que ocorrem em alambiques, tanto na parte externa como na parte interna dos mesmos.
Na Figura 1 é apresentado o alambique tipo "pião", observa-se neste equipamento a camada cinzenta onde o fogo incidia diretamente, sendo tratado como um problema característico da área externa.



**Figura 1**: Alambique tipo "peão"
Fonte: O Autor (2014)



**Figura 2**: Fundo de Alambique
Fonte: O Autor (2014)

De acordo com a Figura 2, que nesta peça existe a formação de uma camada proveniente do depósito de bagacilho e fermento arrastado das dornas de fermentação. Estas sujidades transferem para o destilado o aroma de conteúdo queimado, sendo que a cachaça nestas condições é bem depreciada. Nesta situação tem-se um típico problema interno causado pela falta de cuidado na transferência de vinho para o alambique e da falta de limpeza quando a destilação é finalizada.
Na Figura 3, observa-se o fundo de um alambique retirado para conserto, é possível observar um grande acúmulo de material, caracterizando que o material foi se acumulando com o decorrer do tempo.



**Figura 3:** fundo de um alambique com acúmulo de material
Fonte: O Autor (2015)

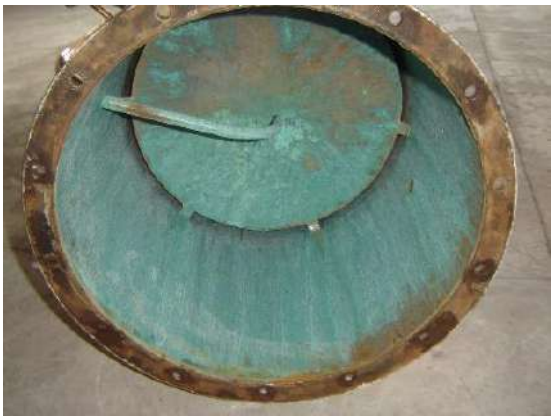


**Figura 4:**Coluna de Alambique com azinhavre
Fonte: O Autor (2015)

Ao observar a Figura 4, podemos notar uma cor esverdeada, esta coloração caracteriza a formação de azinhavre na coluna do alambique. É importante destacar que este problema afeta diretamente a qualidade da cachaça, sendo considerado um dos mais graves. Enfatiza-se que há, inclusive uma legislação específica que limita a quantidade de azinhavre no destilado.
Na Figura 5, observa-se um alambique bem danificado, por efeito do fogo direto, inclusive apresentando fissuras em sua carcaça. Estes problemas podem causar a fuga de destilado durante o aquecimento.



Figura 5: Alambique com fissuras
Fonte: O Autor (2015)



Figura 6: Problemas de vedação do chapéu do alambique
Fonte: O Autor (2015)

Os problemas apresentados pela Figura 6, estão relacionados com a vedação entre o chapéu e o corpo do alambique. Neste caso específico foi utilizado espécie de massa para vedação. Neste alambique é possível observar também problemas de corrosão em seu interior.
Na Figura 9 o problema está relacionado com o selamento do chapéu no colarinho do Alambique. Observa-se a utilização de massa tipo epóxi para fechamento das fissuras.

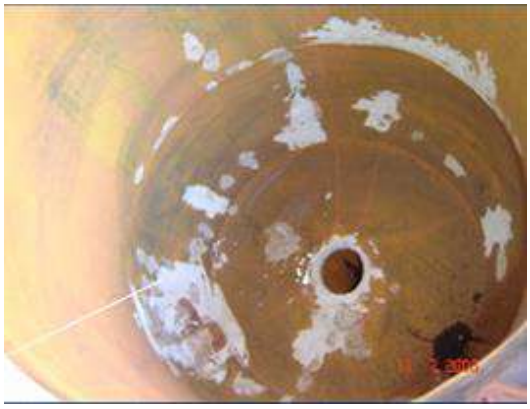


**Figura 9:** Uso de Epoxi
Fonte: O Autor (2015)



**Figura 10:** Remendo na lateral
Fonte: O Autor (2015)

Observa-se na Figura 10, um desgaste lateral. Neste local foi colocado na parte interna, uma chapa galvanizada, material não adequado para este uso. A utilização desse material pode causar problemas para o destilado.
Um estudo comparativo de aguardentes obtidas em alambiques de cobre e de aço inox mostrou que as diferenças acentuadas nos teores de acetaldeído, ésteres e álcoois são as prováveis responsáveis pelas diferenças sensoriais entre os dois tipos de bebida (Nascimento, R.F.; Cardoso, D.R.; Lima-neto, B.S.; Franco, D.W. E e Faria, J.B, 1998).
O teor alcoólico da aguardente, depende muito do modo de operação do alambique no momento de realizar o corte das frações na destilação (cabeça, coração e cauda) (Berry, 1995 e Boza E Horii, 2000; Anjos, 2001).
A contaminação por íons de cobre está ligada à precária higienização dos alambiques. Na superfície do equipamento, há formação do carbonato básico de cobre, conhecido como azinhavre, que é solubilizado pelos vapores alcoólicos ácidos produzidos no processo de destilação, sendo arrastado e contaminando a bebida. Dentre os alambiques que chegavam para manutenção na fábrica, foi possível observar que, a grande maioria apresentava este problema. Concluindo-se então que o proprietário não dava muita importância para o aspecto da limpeza destas peças.
Segundo Nascimento , R.F.; Cardoso, D.R.; Lima-neto, B.S.; Franco, D.W. e Faria, J.B. (1998) e Cardoso (2000), a higiene do alambique no momento da destilação é imprescindível para evitar contaminação com cobre. Para isso, Cardoso, D.R.; Lima-neto, B.S.; Franco e D.W. E Nascimento, (2003), recomendam uma adequada limpeza do destilador, antes de se iniciar uma nova alambicada.

Outra prática citada por Azevedo, S. M. De; Cardoso, M. Das G.; Pereira, N. E.; Ribeiro, C. De F.S.; Silva, V. De F e Aguiar, F. da C. (2003), para evitar os níveis elevados de cobre nos destilados, é manter o equipamento de destilação cheio de água no período da entressafra, impedindo a formação de azinhavre.

Outro problema constatado nos levantamentos fotográficos realizados, diz respeito aos acúmulos verificados no interior dos alambique. Estes acúmulos transferem um gosto alterado para cachaça.

Na tabela 1, são demonstrados, para efeito de comparação as concentrações de algumas substâncias presentes em cachaça obtida em alambiques de diferentes matérias de fabricação sendo o destaque para os materiais de cobre e para o aço inox (Nascimento, R.F.; Cardoso, D.R.; Lima-neto, B.S.; Franco, D.W. E Faria, J.B, 1998).

Tabela 1: Para efeito ilustrativo demonstra-se as concentrações de algumas substâncias presentes em cachaça obtida em diferentes alambiques. (Nascimento et al., 1998).

| **Substância/mg $L^{-1}$** | **Cobre** | **Aço Inox** |
|---|---|---|
| Metanol | 1,82 | 1,16 |
| Álcool isoamílico | 1095 | 1546 |
| Isobutanol | 203,5 | 250 |
| Propanol | 58,0 | 78,2 |
| Acetaldeído | 19,0 | 9,00 |
| Acetado de etila | 16,3 | 108 |
| Caprilato de etila | 1,60 | 6,70 |
| Ácido acético | 20,7 | 21,5 |
| Dimetilssulfeto | 150 | 250 |

Fonte: Nascimento et al., 1998

## 4. CONCLUSÕES

A produção de cachaça surge, assim, como uma possibilidade concreta de ampliação da renda dos agricultores familiares.

Considerando também que os investimentos para a produção de cachaça são pequenos, pois utilizam basicamente um destilador (alambique), geralmente construído de cobre. Faz-se fundamental que se realizem aprofundamentos teóricos que facultem a estes a ampliação de conhecimentos referentes ao assunto.

Em especial, é imprescindível que se considere que o cobre é um metal de transição, necessário ao organismo humano em pequenas quantidades. Porém, em quantidades elevadas causa graves intoxicações, levando a ocorrência de uma série de problemas de saúde.

Ratifica-se que a separação adequada das frações relativas à "cabeça", "coração" e "cauda" é de extrema importância, visto que o grau de volatilização presentes em cada uma das frações determina a presença de vários componentes secundários e contaminantes.

O problema, ora estudado, não teria sua solução com a mera substituição dos recipientes de cobre pelos de outros materiais como os de aço. Isso se deve em função da interferência nas características químicas e na qualidade sensorial da cachaça. Portanto, é possível verificar que uma postura mais exigente do próprio produtor rural, com relação a higienização do equipamento, pode levar uma maior durabilidade do equipamento. Tendo como benefício a obtenção de um produto com mais qualidade.

## 5. REFERÊNCIAS

Andrade-Sobrinho, L.G.De.; Boscolo, M.; Neto, B. Dos S.L.; Franco, D.W. "Carbamato de Etila em Bebidas Alcoólicas (CACHAÇA, TIQUIRA, UÍSQUE E GRAPA)" 2002. *Química. Nova,* .25,1074-1077.

Azevedo, S. M. De; Cardoso, M. Das G.; Pereira, N. E.; Ribeiro, C. De F.S.; Silva, V. De F.; Aguiar, F. da C. 2003. "Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidos em Minas Gerais". *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras. Vol. 27, n.3, p.618-624.

Boza, Yolanda; Horii, Jorge. 2000. Ciênc. Tecnol. Aliment..20,.279-284.

BRASIL, Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA). 1997. "Decreto nº2314 de 04 de setembro de 1997".

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). 2002. "Decreto nº 4072 de 05 de junho de 2002".

Cavalcante, M., S. 2011. A verdadeira história da cachaça. Sá Editora: São Paulo, 606 p.

Cleto, F.V.G. 2000. "Ação da lecitina no processo fermentativo, rendimento e composição das aguardentes em mostos de cana-de-açúcar, laranja e uva". Jaboticabal: UNESP (tese de doutorado).

CARDOSO, M. das G. Análises físico-químicas de aguardente. In: **Produção artesanal de aguardente**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. p.61-73.

Cardoso, D.R.; Lima-neto, B.S.; Franco, D.W. E Nascimento, R.F. 2003." Influência do material do destilador na composição química das aguardentes de cana". Parte II. *Química Nova*, Vol. 26, p. 165-169.

Feitosa, P.,C.,L. – A cachaça como identidade cultural. 2005. 70 p. Monografia (Especialização) - Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Martinelli, D. P.; Spers, E. E.; Costa, A. F. 2000. "Ypióca - introduzindo uma bebida genuinamente brasileira no mercado global". In: *CONGRESSO ANUAL DO PENSA (PROGRAMA DE ESTUDOS DOS NEGÓCIOS DE SISTEMA INDUSTRIAL*), 10., São Paulo. *Anais* ... [São Paulo, 2000].

Nascimento, R.F. Do; Lima Neto, B.S. E Franco, D.W. 1997. *Aldeídos em bebidas alcoólicas fermento-destiladas*. O Engarrafador Moderno, n. 49, p. 76-78.

Nascimento, R.F.; Cardoso, D.R.; Lima-neto, B.S.; Franco, D.W. E Faria, J.B. 1998. "Influência do material do alambique na composição das aguardentes de cana-de-açúcar". *Química Nova*, Vol. 21, p. 735-739.

Rodrigues, L. R.; Oliveira, E. A. A. Q. De. 2006. *Expansão da exportação de cachaça brasileira: uma nova oportunidade de negócios internacionais.* In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 7., São José dos Campos. *[Anais...]*. [São José dos Campos: Univap, 2007].

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Produção: Gestão de Projetos, Produtos e Serviços

REALIZAÇÃO:

URI ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CARRO ELÉTRICO – UMA ANÁLISE DA VISÃO DO CONSUMIDOR

**Tainara Volan**[1]
**Cristian Fernando Oecksler**[2]
**Caroline Rodrigues Vaz**[3]
**Mauricio Uriona-Maldonado**[4]
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
**Alessandra Taís da Costa**[5]
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI
[1] tainaravolan@gmail.com; [2] cristianfernando.cris@gmail.com; [3] caroline.vaz@ufsc.br; [4] m.uriona@ufsc.br
[5]alee_tais_f@hotmail.com

**Resumo:** Diante da necessidade de ações em prol de um mundo mais sustentável, com menor emissão de gases de efeito estufa e em busca de menor poluição do ar, surge a mobilidade elétrica como uma alternativa a esses desafios. Os carros elétricos estão se tornando populares em muitos países, devido a benefícios ambientais e econômicos que trazem a sociedade. No entanto, no Brasil, ainda não é uma tecnologia desenvolvida. Desse modo, é de suma importância entender como os consumidores enxergam essa inovação, e quais são as barreiras para a adoção. Isto posto, através de um questionário, buscou-se informações acerca do grau de conhecimento que possíveis adotantes teriam sobre carros elétricos. Após isso, comparou-se os resultados com o que foi encontrado na literatura sobre o assunto. O resultado mostra, que a grande maioria conhece parcialmente a tecnologia, bem como os valores de comercialização no mercado automotivo, os consumidores ainda afirmam que o custo de aquisição do veículo é alto e que falta infraestrutura para o desenvolvimento do mercado, mas poderá vir a ser uma tecnologia competitiva no setor automotivo. Assim sendo, destaca-se a necessidade de incentivos e subsídios financeiros, tão importante quanto, é a necessidade de a população conhecer os carros elétricos e sua importância para sanar problemas atuais e futuros no que se refere a questões ambientais.

Palavras-chave: carros elétricos, mobilidade elétrica, questionário, consumidores

## 1. INTRODUÇÃO

A mobilidade é reconhecida como vetor fundamental para o desenvolvimento de uma economia globalizada, aliado à garantia do bem-estar social. No entanto, possui grande influência em problemas ambientais, além do mais os meios de transporte terrestres respondem a uma grande parcela da demanda de combustíveis no mundo, advindo de derivados do petróleo. Diante disso, representa fontes significativas de poluição atmosférica e emissão de gases do efeito estufa, principalmente nos grandes centros urbanos e, acabam por se envolver então, em questões de saúde pública (NETO, 2013; LIAO *et al.*, 2019). Aproximadamente, 25% das partículas finas emitidas que contribuem para a poluição do ar nas cidades são vindas de veículos automotores (KARAGULIAN *et al.*, 2015).

O Brasil tem liderado grandes inovações sustentáveis, como o uso do biodiesel e do etanol. A partir de 2010, o número de veículos leves produzidos com motor *flex* atingiu 86% do volume total produzido. Mas há que se considerar, a emergência dos veículos elétricos e híbridos brasileiro, os quais podem apresentar um impacto significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes associados (TEIXEIRA *et al.*, 2015; ZANETI, 2018).

No entanto, as inovações só ganham mercado quando passam a serem aceitas pelos consumidores e resultam em retorno econômico (OCDE, 2007). Desse modo, o comportamento do consumidor é uma das forças que determina o sucesso dos produtos no mercado (SAMARA; MORSCH, 2005), isso é mais forte ainda se, essas inovações, inserem novos hábitos de uso e consumo e que implicam rupturas na comparação com outras tecnologias já consolidadas (AGUIAR *et al.*, 2019).

Da frota atual de veículos elétricos 68% localiza-se nos três maiores mercados: China, Estados Unidos e Japão. A Holanda e Noruega merecem destaque em termos de participação de mercado (IEA, 2017). Neste último, Noruega, os carros elétricos são beneficiados de isenções fiscais, privilégios de direção, isenção de taxas de estacionamento nos centros das cidades e, muitas vezes, o carregamento do veículo é realizado a custo zero (OFV, 2019).

No Brasil, os incentivos advindos do governo ainda são poucos, um deles é a redução ou isenção, em alguns estados, de IPVA e redução na faixa do IPI (SILVA; BRASIL, 2018). Mas tais ações isoladas ainda não apresentam, significativamente, mudanças no contexto do mercado automotivo.

Diante do apresentado, com a utilização de um questionário, o presente artigo tem como objetivo investigar o grau de conhecimento dos consumidores sobre a difusão dos carros elétricos e híbridos no Brasil. Para assim poder entender os desafios dessa tecnologia e o quanto esse setor ainda precisa melhorar para alcançar uma fatia de mercado significativa no país.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Diferentes modelos de carros elétricos e híbridos são produzidos e comercializados, entre eles o ponto comum é o motor movido a eletricidade (FURLANETTO, 2018). Desse modo, no âmbito das possibilidades tecnológicas há os carros elétricos a bateria, híbridos e os movidos a células de hidrogênio (CHAN, 2007).

Os veículos elétricos à bateria ou puros são aqueles que usam uma bateria que é carregada diretamente de uma estação de energia através de um *plug*. Já os veículos elétricos híbridos possuem motor elétrico que são carregados por um gerador interno como um motor de combustão que usa um combustível convencional como fonte de energia. Diferentemente deste, os veículos elétricos híbridos *plug-in* possuem baterias recarregáveis que podem ser completamente recarregadas ao se conectar um *plug* em uma fonte externa (ASTOLFI, 2013). E por último, os movidos a células de hidrogênio que combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que fará funcionar o motor (FGV Energia, 2017).

Os carros elétricos trazem mudanças ao substituir o paradigma mecânico pelo eletrônico. Sendo assim, alguns sistemas eletroeletrônicos já presentes nos sistemas a combustão passam a mudar de *status*, assumindo uma importância mais central no veículo elétrico (CASTRO; FERREIRA, 2010).

Ademais, são considerados veículos com zero ou baixa emissão e não produzem ruídos, representando uma possível ruptura na trajetória tecnológica na indústria automobilística (AGUIAR *et al*., 2019). Além das vantagens citadas o manuseio e uso do veículo elétrico é bastante simples, pois possui poucas peças de reposição e ausência de itens como caixa de câmbio, bombas de combustível, entre outros (MASIERO *et al.*, 2017).

No entanto, há aspectos da perspectiva dos usuários que afetam a aquisição como custo elevado, autonomia de rodagem e disponibilidade de redes de abastecimento, são alguns exemplos (AGUIAR *et al.*, 2019).

No Brasil, segundo dados do Denatran (2018), cerca de 0,01% são elétricos sejam eles híbridos ou puros, totalizando aproximadamente 10.000 unidades. Desses veículos, os com maior quantidade são de híbridos, e sua maior concentração dá-se nas regiões sul e sudeste do país. Acredita-se que a concentração nessas regiões se deve a incentivos de desenvolvimento de infraestrutura e projetos tecnológicos, além de projetos de carros elétricos compartilhados, que oferecem a experimentação da tecnologia (VOLAN; VAZ; URIONA MALDONADO).

## 3. METODOLOGIA

Para a construção da pesquisa, utilizou-se um questionário por meio do *Google Forms*. O programa apresenta facilidade em manuseio da estrutura, que segundo Oliveira e Penteado (2016) se obtém com esse método maior alcance, confiabilidade das informações e maior disponibilidade, tal formulário permanece na rede acessível em diferentes plataformas e pelo tempo necessário. As questões são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Formulário de perguntas

| Número da questão | Perguntas |
|---|---|
| 1 | Termo de consentimento livre e esclarecido |
| 2 | Qual sua faixa de idade? |
| 3 | Qual seu gênero? |
| 4 | Qual desse tipo de locomoção você usa frequentemente? |
| 5 | Qual seu gasto mensal aproximado para locomoção? |
| 6 | Qual a distância aproximada do seu percurso diário? |
| 7 | Qual o gasto anual com IPVA se aplicável? |
| 8 | Quais os critérios que você usaria para comprar um veículo? Cite os 3 mais importantes. |
| 9 | Você tem conhecimento sobre os veículos elétricos e híbridos no Brasil? |
| 10 | Você saberia a diferença entre veículos elétricos e híbridos? |
| 11 | Qual a faixa média do atual valor dos veículos elétricos de pequeno a médio porte no Brasil? |
| 12 | Quais os 3 principais motivos que você não compraria um carro elétrico? |
| 13 | Na sua opinião, quais as 3 principais dificuldades da difusão dos veículos elétricos e híbridos no Brasil? |
| 14 | Você acredita que falta de popularização de veículos híbridos e elétricos no Brasil se deve pela falta de subsídios governamentais ou pela falta do amadurecimento da tecnologia e consequente barateamento? |
| 15 | Uma residência com geração de energia autônoma (por células fotovoltaicas, por exemplo) acabaria atraindo o consumo de veículos elétricos? Por quê? |

| | |
|---|---|
| 16 | Considerando o mercado de autopeças existe para as montadoras de veículos à combustão. Quais novas oportunidades de negócio você enxerga com a possível difusão de novas montadoras de veículos elétricos no Brasil? |
| 17 | Há setores da indústria que deverão se reinventar para poder se adaptar aos veículos elétricos? Por quê? |

O formulário foi distribuído para diferentes grupos sociais, desde alunos da graduação e pós-graduação, e pessoal da comunidade externa à universidade, sem limitação de faixa etária. Além disso, o formulário contou com um termo de consentimento livre e esclarecido.

## 4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

A pesquisa contou com 35 respostas, sendo que 68,6% dos respondentes possuem entre 14 e 25 anos. O gênero do público entrevistado é 60% masculino e 40% feminino, conforme Figura 1.

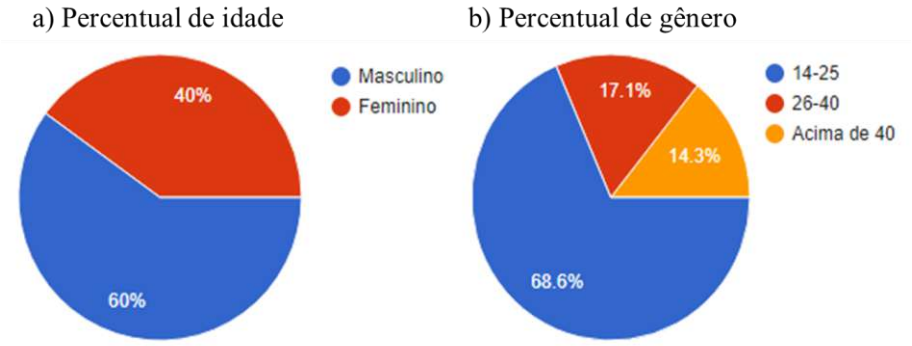
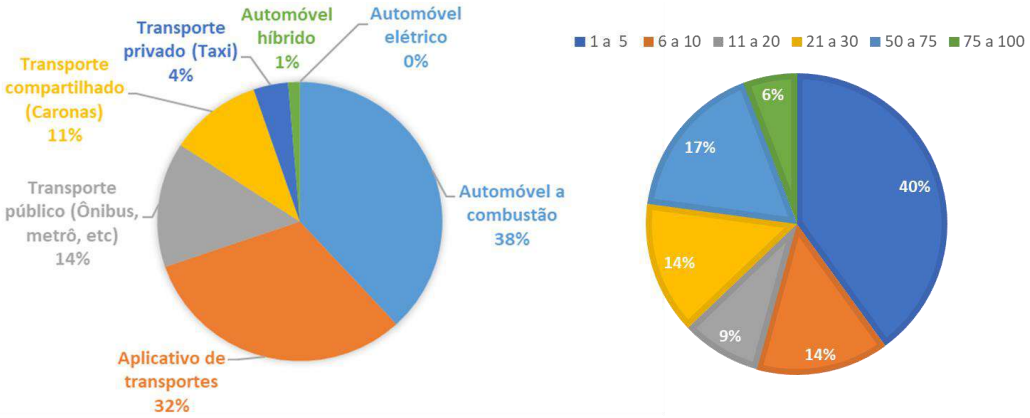



Figura 1. Características do público respondente

Quando questionados ao tipo de locomoção utilizada com maior frequência obteve-se destaque o automóvel à combustão com 38% das preferências, posteriormente, com 32% os aplicativos de transportes, e 14% citaram o transporte público. Os consumidores que participaram do questionário também evidenciaram a distância aproximada do percurso diário, sendo que 40% dos respondentes percorrem de 1 a 5 km diariamente, conforme Figura 2. Dos respondentes, 26% afirmam que o gasto em transporte está em torno de R$ 100 a R$ 200 por mês.




a) Locomoção tipicamente utilizada

b) Distância aproximada de locomoção diária em (km)

Figura 2. Tipo de locomoção e distância percorrida

Partindo das perguntas que caracterizam o consumidor para perguntas a respeito sobre o conhecimento das pessoas quanto aos veículos tradicionais (à combustão), questionou-se os três principais critérios de compra de um veículo tradicional à combustão e, conforme a Figura 3, o que obteve maior representividade foi a eficiência/consumo representando 37%, seguido pelo conforto (18%), valor de aquisição (15%) e manutenção com 11% da amostra.

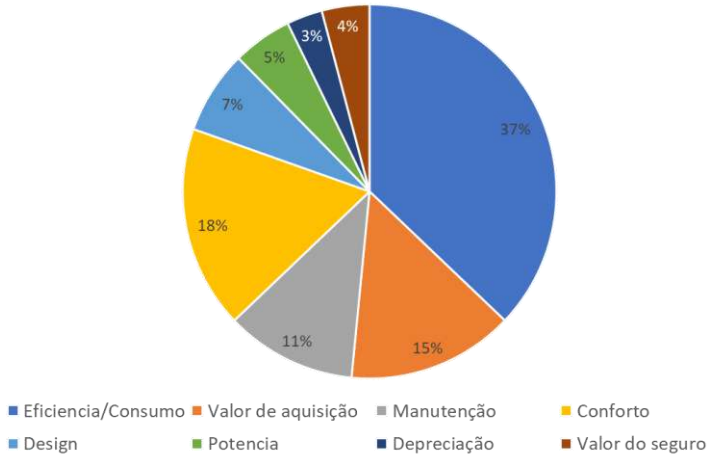



Figura 3. Critérios de compra de um veículo tradicional à combustão

A primeira questão que se voltou especificamente a veículos elétricos foi elaborada com vista ao conhecimento sobre a tecnologia. Diante disso, 60% demonstrou conhecer parcialmente os veículos elétricos, seguido de 22,9% afirmando que conhece bem a tecnologia e 17,1% que desconhece totalmente.

No quesito de conhecimento da diferença de híbridos e elétricos à bateria, os respondentes se mostraram divididos em conhecer bem ou parcialmente, ficando 48,6% para cada item e menos de 3% afirmam que não sabem a diferença entre as tecnologias.

Ainda sobre o conhecimento dos veículos elétricos, questionou-se os entrevistados sobre o valor de aquisição de pequeno e médio porte e 40% optaram pela faixa de R$ 100 mil a R$ 150 mil, o que corresponde a realidade brasileira, valor que pode se estender até R$ 200 mil, outra categoria que foi optada por 20% dos respondentes. A segunda faixa mais optada pelos respondentes (34,3%) representa o valor de R$ 50 a R$ 100 mil, valor que não corresponde a realidade brasileira. Mesmo os veículos híbridos, que muitas vezes possuem valor menor (por exemplo Toyota Prius), não são comercializadas nesta faixa de preço na condição de veículo novo, isso demonstra falta de conhecimento pelos consumidores dos preços praticados no mercado.

Mesmo que os consumidores tivessem maior conhecimento sobre os carros elétricos, o alto custo é ainda a principal barreira de adoção. Com uma carga tributária alta devido a importação, os carros elétricos podem facilmente custar o dobro de um veículo tradicional de mesma categoria. Segundo a FGV Energia (2017) os carros elétricos estão ao alcance das classes A e B, mesmo que, no contexto geral não se encaixam como veículos de luxo.

No entanto, autores como Hardman *et al.* (2015) salientam que quando se analisa o custo total, incluindo a compra, gastos com manutenção, abastecimento, seguro e outros, os carros elétricos se tornam mais baratos em comparação com carros à combustão.

Posteriormente, com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre prováveis dificuldades de difusão de veículos elétricos no Brasil, a primeira questão efetuada requisitou três motivos pelos quais as pessoas não comprariam um carro elétrico. Conforme Figura 4, predominantemente, a infraestrutura (eletropostos), valor de aquisição e problemas relacionados com a bateria são os principais motivos, com 32%, 31% e 22% respectivamente.

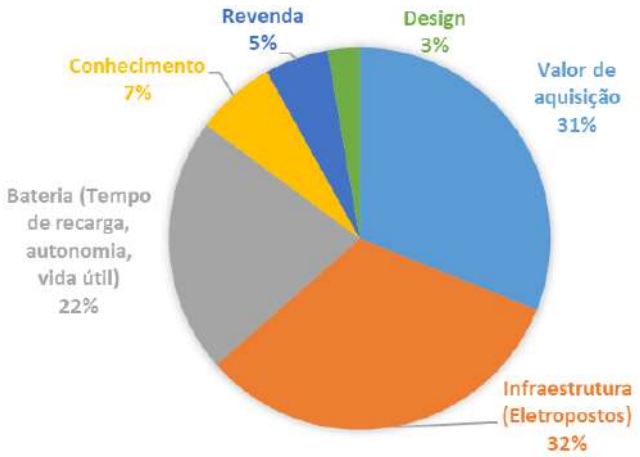



Figura 4. Principais motivos para não adquirir um veículo elétrico

Além de confirmar o alto custo de aquisição do veículo percebe-se outra barreira, a falta de infraestrutura de carregamento que é decorrente do efeito cascata provido da falta de políticas públicas e do baixo número de carros elétricos em circulação. Sem veículos elétricos em circulação, a infraestrutura de carregamento é irrisória no país, pois sua demanda é baixa.

Salienta-se nesse caso algumas iniciativas privadas para a instalação de pontos de recarga, o qual se localizam em *shopping centers* e outros pontos de grande fluxo de pessoas. Também há iniciativas conjuntas de instituições privadas e de organizações acadêmicas e de pesquisa, um exemplo é o corredor elétrico da Celesc (Centrais Elétricas de Santa Catarina), o qual constitui-se de uma parceria desenvolvida pela Fundação CERTI (Centro de Referência em Tecnologias Inovadoras) e a Celesc no âmbito do programa de Pesquisa & Desenvolvimento da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), o projeto possui sete postos de abastecimento com unidades em Florianópolis, Porto Belo, Araquari, Joinville, Blumenau e na sede da CERTI e Celesc em Florianópolis/SC (CELESC, 2018).

O terceiro motivo da não compra de um veículo elétrico são as baterias, segundo Felix (2018) os engenheiros fazem um trabalho excepcional com foco em aumentar a autonomia e reduzir o tempo de recarga, contudo, com a chegada das novas soluções, estas não permitem que o preço caia ou que o sistema se popularize. Devido a isso, ainda não houve o amadurecimento tecnológico o que reflete no preço do produto.

No entanto, discute-se o objetivo fim da utilização do veículo. Estudos verificaram que países com área geográfica menos extensa têm vantagens no uso de veículos elétricos, pois não percorrem uma longa distância, tal fato permite a recarga durante a noite e na própria residência (TEIXEIRA *et al.*, 2015). Contudo, ainda assim o baixo alcance da bateria gera uma ansiedade por parte do consumidor, que acredita que ficarão parados no meio do trânsito, sem carga na bateria (MORTON, 2018).

Ademais, se além do custo de aquisição o consumidor analisar os preços atuais de eletricidade e de combustível por km, verá que o valor é menor para os carros elétricos do que a combustão. Além disso, há a possibilidade de utilizar o carro como armazenamento de energia e reserva para a rede (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013).

Indo de encontro à pergunta anterior, questionou-se os motivos para a dificuldade de difusão de carros elétricos no Brasil. Os motivos obtidos foram relacionados a valor de aquisição (23%), falta de subsídios (19%), competição com o mercado petrolífero (18%), infraestrutura (17%), falta de conhecimento (12%) e impostos (11%).

Questionados se a falta de popularização de veículos híbridos e elétricos no Brasil se deve pela falta de subsídios governamentais ou pela falta de amadurecimento da tecnologia e consequente barateamento, o público demonstrou uma opinião diversa. A maioria representa que o problema de popularização se deve ao amadurecimento tecnológico (43%), em segundo os subsídios governamentais (34%). Contudo, houve votos significativos que representam ambos os motivos (23%).

Em seguida, foi proposta a seguinte pergunta: uma residência com geração de energia autônoma renovável (fotovoltaica, por exemplo) acabaria atraindo o consumo de veículos elétricos? A grande maioria dos respondentes (80%) concordou que atrairia o consumo de veículos elétricos, porque o custo de abastecimento seria menor desta forma. Além disso, os respondentes salientam a disposição de mudança de hábitos a fim de poluir menos, difusão de conhecimento na população, novos meios (e limpos) de se obter energia elétrica, bem como redução de custos.

Efetuou-se uma pergunta sobre quais as oportunidades de mercado que estão a surgir com a possível difusão dos carros elétricos no Brasil. As respostas geradas ficam entorno de criação de redes de eletropostos (22%), empregos em diversas áreas (21%) e assistência técnica (18%). A Figura 5 sumariza as respostas encontradas.

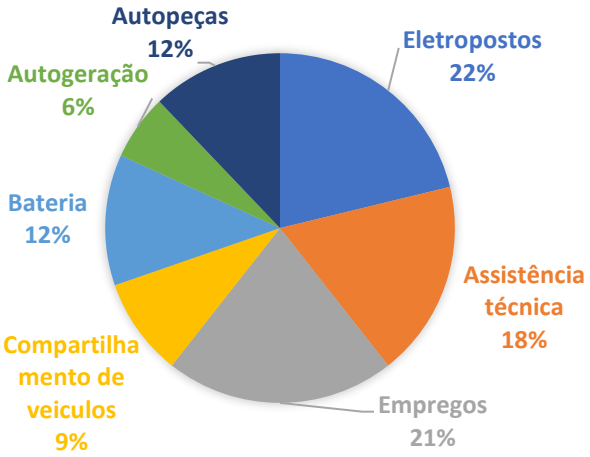



Figura 5. Oportunidades de mercado que estão a surgir com a possível difusão dos veículos elétricos no Brasil

Os respondentes atentam à necessidade de mudanças no sistema de energia elétrica, *smart grid*, além de estudos de impacto nos veículos na rede e a busca por fontes mais limpas.

Por último, questionou-se se há setores da indústria que deverão se reinventar para poder se adaptar aos carros elétricos. As respostas foram unânimes em afirmar as alterações, como: cadeia automobilística, transporte, *lobby* petrolífero, composição das frotas, postos de combustível e assistência técnica especializada.

Uma das particularidades do Brasil, é a competição com o mercado do petróleo que atualmente é composta por uma grande empresa estatal. Diante deste fato, é percebido certa resistência e falta de motivação pelo poder público voltado aos carros elétricos devido aos valores arrecadados da petrolífera, por outro lado, é de conhecimento internacional que os veículos elétricos podem ameaçar o mercado de combustíveis fósseis.

Em alguns países, para superar as principais barreiras de impedimento de penetração do mercado de carros elétricos, muitos fabricantes tentam adotar novos modelos de negócio. Um exemplo é a locação do veículo, onde o consumidor aluga por período (normalmente 3 a 4 anos), com pagamentos mensais. Ou então alugar a bateria do veículo, que é considerado a parte mais cara do carro elétrico (LIAO *et al.*, 2019). Dessa forma, novas opções para os consumidores podem aumentar a chance de adoção desse tipo de veículo. Os sistemas de compartilhamento fornecem ao usuário a chance de experimentarem e testarem os carros (SCHLUTER, 2019).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os carros elétricos, apesar de em muitos países serem altamente comercializados e até estarem competindo com os veículos movidos à combustão, no Brasil é uma inovação tecnológica incipiente. Os consumidores ainda não possuem conhecimento de como sua tecnologia funciona e nem sobre os benefícios que se pode gerar com seu uso.

Além disso, a cultura da população possui grande impacto na adoção de uma nova tecnologia, que só é adotada com pressões vindas de diversos atores do sistema. Como por exemplo, movimentos vindos de fabricantes de carros, a qual investem em modelos híbridos ou elétricos e traz para mais perto do consumidor a possibilidade de compra. Ou ainda, a implantação de postos de abastecimento em locais de movimento, demonstrando que a tecnologia tem suporte para se desenvolver. Quando a sociedade se sentir pressionada e responsável pela aquisição de uma tecnologia sustentável, vencerá a que estiver mais bem preparada, tanto em termos de infraestrutura, tecnologia e preço.

Como estudos futuros faz-se necessário analisar os efeitos socioeconômicos (por exemplo, idade, sexo, renda familiar, nível de escolaridade, profissão e outros), pois são eles que influenciam a decisão dos indivíduos de comprar carros elétricos, tanto positivamente quanto negativamente.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro, bem como ao grupo Sinergia do PPGEP/UFSC.

## 7. REFERENCIAS

Aguiar, K. d., Weiss, M. C., Luppe, M. R., Consoni, F. L., 2019. *O veículo elétrico: estudo da percepção dos brasileiros.* E-Locução, Revista Científica da FAEX, Ed. 15, pp. 27-51.

Astolfi, C. N. N., 2013. *Disseminação de veículos elétricos no Brasil: uma pesquisa DELPHI*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Economia e Finanças IBMEC – Programa de Pós-Graduação e pesquisa em administração e economia.

Brasil, 2018. *Lei nº 13.775, de 10 de dezembro de 2018.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Castro, B. H. R. D., Ferreira, T. T., 2010. *Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades.* BNDES Setorial – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, v. 32, pp. 267-310.

CELESC, 2018. Especistas da ANEEL testam corredor elétrico do Sul do Brasil. Publicado em 09 de novembro de 2018. Disponível em: http://www.celesc.com.br/portal/index.php/noticias/2163-especialistas-da-aneel-testam-corredor-eletrico-do-sul-do-brasil. Acesso em 21 de fevereiro de 2019.

Chan, C. C., 2007. *The state of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*. Proceedings of the IEEE, vol 95, n. 4, pp. 704-718.

Denatran. Frota de Veículos, 2018. Disponível em: http://www.denatran.gov.br/images/OUTUBRO/I_Frota_por_UF_Municipio_Marca_e_Modelo_Ano_Outubro_2018.rar. Acesso em 09 de março de 2019.

Dijk, M., Orsato, R. J., Kemp, R., 2013. *The emergence of an electric mobility trajectory*. Energy Policy, v. 52, pp. 135-145.

Felix, L., 2018. *Fabricar carro elétrico é muito diferente de um normal? Veja o que muda.* Disponível em: https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/06/15/fabricar-carro-eletrico-e-muito-diferente-de-um-normal-veja-o-que-muda.htm. Acesso em 16 de abril de 2019.

FGV Energia, 2017. *Carros elétricos*. Ano 4, n. 7.

Furlanetto, E. L., 2018. *Difusão do carro elétrico no Brasil à luz da teoria de difusão de inovação*. XX Engema.

Hardman, S., Shiu, E., Steinberger-Wilckens, R., 2015. *Changing the fate of Fuel Cell Vehicles: Can lessons be learnt from Tesla Motors?*. International Journal of Hydrogen Energy, v. 40, pp. 1625-1638.

IEA – International Energy Agency, 2017. *Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars.* Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf. Acesso em 06 de setembro de 2019.

Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Pruss-Ustun, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., Amann, M., 2015. *Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level*. Atmospheric Environment, v. 120, pp. 475-483.

Liao, F., Molin, E., Timmermans, H., Wee, B. V., 2019. *Consumer preferences for business models in electric vehicle adoption*. Transport Policy, v. 73, pp. 12-24.

Morton, C. A., Yeboah, G., Cottril, C., 2018. *The spatial pattern of demand in the early market for electric vehicles: Evidence from the United Kingdom*. Journal of Transport Geography, v. 72, pp. 119-130.

Neto, A. K., 2013. *Cenário brasileiro para os veículos elétricos***.** Dissertação de mestrado. Universidade Regional de Blumenau – FURB, Centro de Ciências Tecnológicas.

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2007. *Manual de Oslo: Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica*. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/biblioteca/manual_de_oslo.pdf. Acesso em 31 de agosto de 2019.

OFV, 2019. *I april var hver tredje nye personbil en nullutslippsbil.* Disponível em: https://ofv.no/aktuelt/2019/registreringsstatistikken-for-april. Acesso em 06 de setembro de 2019.

Oliveira, G. W. de B., Penteado, A. L., 2016. *Análise social dos alunos da UTFPR Câmpus Ponta Grossa: sua proveniência geográfica e integração à comunidade acadêmica*. Ponta Grossa: UTFPR.

Samara, B. S., Morsch, M. A., 2005. *Comportamento do consumidor: conceitos e casos*. São Paulo: Pretince Hall.

Schluter, J. W. J., 2019. *Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime change in automobility.* Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, v. 60, pp. 185-201.

Silva, M. L. R. R. D., 2018. *O desenvolvimento da indústria de veículos elétricos no Brasil: o papel das políticas públicas.* Universidade de São Paulo.

Teixeira, A. C. R, Silva, D. L., Neto, L. V. B. M., Diniz, A. S. A. C., Sodré, J. R., 2005. *A review on electric vehicles and their interaction with smart grids: the case of Brazil*. Clean Technologies and Environmental Policy, vol 17, n. 4, pp. 841-857.

Volan, T., Vaz, C. R., Uriona Maldonado, M., 2019. *Panorama do estado atual da difusão de veículos elétricos no Brasil*. XXII Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais.

Zaneti, L. A. L., 2018. *Diagnóstico dos produtos e serviços complementares para a adoção dos carros elétricos e híbridos no Brasil.* Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas.

## 8. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.
The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PLATAFORMA WEB PARA MONITORAMENTO REMOTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE

**Marcos Ismael Schultz**
**Camila Sampaio dos Reis**
**Suélen Bampi**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS.
marcos11-24@hotmail.com, camilasampaiodosreis@gmail.com, suel.bampi@gmail.com

***Resumo:*** *Este artigo propõe um sistema de coleta de parâmetros ambientais em ambientes assistenciais de saúde por meio do monitoramento em tempo real via internet, pois parâmetros dentro dos padrões normativos garantem conforto aos pacientes e ao corpo clinico, bem como um bom funcionamento dos equipamentos clínicos. O método de aquisição de dados consiste em um Arduino Mega e um sensor BME280, responsável pela leitura de temperatura e umidade do ambiente. Para transmissão dos dados via internet o módulo Ethernet Shield W5100 foi acoplado ao Arduino Mega. Estando os dados disponíveis na internet utilizou-se um banco de dados a fim de armazena-los e gerar análises estatísticas. Os parâmetros armazenados foram lançados em uma interface de usuário, que além de gerar gráficos em tempo real dos dois parâmetros monitorados, gera uma notificação de alerta sempre que os parâmetros estivem em desacordo com as normas. Através de um link de acesso a uma página, os gestores em saúde podem acompanhar as condições ambientais apresentadas em um histórico das últimas 24 horas e de um registro de erro de 7 dias. O sistema se mostrou eficiente na obtenção dos dados e na sua exibição ao usuário, permitindo acompanhar possíveis irregularidades e possibilitando intervir com diligência para manter o bem-estar de todo o ambiente hospitalar monitorado.*

***Palavras chave:*** *Arduino, ambiente hospitalar, monitoramento remoto, parâmetros ambientais*

## 1. INTRODUÇÃO

Delgado (2016) considera que a busca da qualidade assistencial, bem como a promoção da saúde, possa ser explorada sob o enfoque de um gerenciamento contínuo quanto a situações operacionais vivenciadas na assistência médica. Precisa-se dispor de informação contínuas para tomar decisões assertivas e rápidas.

Vários podem ser os fatores associados às condições ambientais, pois o que se busca é um ambiente desprovido de problemas ergonômicos. A partir desse ponto de vista, características ambientais precisam ser atendidas, tais como: temperatura, umidade, luminosidade, ruído, dentre outras (Elias, 2013). Para isso, há a necessidade de estudar e analisar as normas técnicas associadas a cada parâmetro nos serviços de saúde, a fim de identificá-los como aceitáveis ou inaceitáveis com base nos padrões estabelecidos por normativas vigentes. Esses parâmetros são considerados importantes, pois podem limitar a efetividade do uso de equipamentos, afetando, assim, o desempenho dos usuários (Carayon, 2012).

Com base nisso, este artigo propõe verificar parâmetros ambientais de temperatura e umidade em ambientes hospitalares (ABNT, 2005) por meio do desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real via *internet*, para isso, utilizando linguagens de programação e desenvolvimento *web*. Aprimoramentos foram realizados ao sistema desenvolvido por Bampi, Reis e Schultz (2017) a fim de substituir a aquisição de informações via cartão SD pela aquisição de dados diretamente via *internet*.

Como mecanismo necessário para disponibilizar os dados na *internet* usou-se de programas e estruturas de linguagem de computador, dentre elas a linguagem C utilizada no microcontrolador, além de HTML, PHP, SQL. Usou-se também de uma estrutura de banco de dados MySQL para hospedagem de conteúdo acessível ao público em ambiente *web* e lógica de programação em geral para a criação de uma interface que possibilite a visualização dos dados em tempo real.

O banco de dados é uma coleção de dados relacionados, nele são armazenadas informações de qualquer tipo, para diversos tipos de uso. As informações contidas nele podem ser organizadas em índices, classificadas, organizadas e

armazenadas em variáveis, podem ser manipuladas, e principalmente, podem ser acessadas facilmente por meio de diversos dispositivos, através de comandos em SQL. Sendo o acesso e o controle do banco de dados, através de um SGBD ("Sistema de gerenciamento de Banco de Dados"), que é um *software* que possui recursos capazes de manipular os dados armazenados, deletar ou incluir informações, dentre várias outras opções. Existem diversos SGBD, e a principal diferença entre eles é o nível de segurança e os recursos contidos, de modo que cada um deles possui melhor funcionalidade para aplicações específicas. Para este estudo foi utilizado o SGBD MySQL, por ser bastante seguro e de fácil utilização, e o mecanismo de armazenamento InnoDB por ser diretamente compatível com o MySQL (Elmasri; Navathe, 2011).

Os setores hospitalares visados para validação do módulo supervisor *web* corresponderam a centros cirúrgicos, unidades de tratamento intensivo (UTIs), centro de materiais esterilizados (CME) e serviços de imagem, incluindo salas de tomografia computadorizada. Esses setores foram definidos por meio de reuniões com o setor de gerenciamento e manutenção de hospitais da região sul do Brasil.

A coleta de dados no ambiente hospitalar e sua visualização imediata pelo sistema de monitoramento desenvolvido proporciona a identificação de inconformidades pontuais e gerais em tempo real, de modo que possam realizar ações corretivas para atender a legislação vigente. Isso visa instigar que os hospitais possam promover melhorias e reparos no ambiente físico, se comprovado que há irregularidades. Com isso, são gerados benefícios aos pacientes, bem como ao corpo clínico, aos equipamentos e à própria infraestrutura.

## 2. METODOLOGIA

Iniciou-se por uma adequação ao sistema proposto por Bampi, Reis e Schultz (2017) visando aumentar a precisão de leitura dos parâmetros ambientais e facilitar a implementação prática em um único módulo de coleta. Para maior precisão nas leituras e maior insensibilidade ao meio, substituiu-se o sensor DHT22 pelo sensor BME280 que possui maior precisão e confiabilidade a longo prazo (Smith, 2018). O módulo RF433MHz responsável por transmitir os valores ambientais de luminosidade também foi removido, por ter apresentado dados inconsistentes nas medições, e estar impossibilitado de atender as normas NBR5413 (ABNT, 1991) e NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). Com a reestruturação a nova plataforma de coleta pode ser visualizada na Fig. 1.




Figura 1. Módulo supervisor

Com o sensor fazendo o levantamento de temperatura e umidade de forma eficiente, o módulo *Ethernet Shield W5100* acoplado ao Arduino Mega pode disponibilizar estas informações na *Internet*. Na sequência são apresentadas as etapas desenvolvidas a fim de disponibilizar os dados locais em uma página *Web* de fácil interpretação.

### 2.1 Hospedagem e banco de dados online

O desenvolvimento de um sistema que armazene os dados coletados necessita de um servidor ou *host*, que pode ser acessado por qualquer dispositivo conectado à rede através de um *link* ou de um endereço online, sendo utilizado neste trabalho um computador *online* alugado, do serviço de hospedagem *Hostinger*. Esse serviço de hospedagem fornece mecanismos que facilitam a instalação do banco de dados, das interfaces de programação e do SGBD, o que permite conseguir um computador online e com banco de dados de maneira simples e rápida. O serviço citado também permite aderir a um nome de domínio personalizado, desta forma foi possível transformar o computador alugado em um *site* com domínio público, permitindo associar as informações a um *link* acessível via *internet*.

#### 2.1.1 Banco de dados

Com o servidor já alugado e o nome de domínio configurado, foi possível instalar o banco de dados e configurá-lo. Pela interface de gerenciamento do banco de dados *phpMyAdmin* foi criado um banco de dados estruturado de modo a comportar os valores de temperatura e umidade atuais, mas também, um histórico de amostras referentes aos últimos

2000 dados coletados, o que totaliza 7 dias consecutivos de amostragem, visto que o Arduino insere novas informações no banco de dados de 5 em 5 minutos.

Também foram criadas variáveis de índice, usuário e senha, para que o sistema seja acessível apenas para os usuários cadastrados no banco de dados. Desta forma apenas usuários autorizados têm acesso as informações coletadas.

### 2.2 Algoritmos de gerenciamento

Os algoritmos referentes à coleta, manipulação e envio dos dados ao banco de dados e posteriormente à página *web* foram produzidos no *software* Notepad++ que é um ambiente desenvolvido para programação em diversas linguagens, permitindo verificar a sintaxe do código e a sua correta escrita, além de possuir uma interface limpa, que facilita a escrita dos códigos.

Na sequência estão apresentadas as linguagens de programação e a lógica utilizada para a aquisição e envio de informações pelo microcontrolador, para o gerenciamento do banco de dados e para o funcionamento da página *web*.

#### 2.2.1 Algoritmos em C

Para o desenvolvimento do código responsável pelo gerenciamento do microcontrolador, foi utilizado o *software* Notepad++ para a criação do código e posteriormente a IDE ("*Integrated development Enviroment*") oficial do Arduino, para compilar e gravar o algoritmo no microcontrolador.

A IDE do Arduino é um ambiente baseado em C/C++, voltado a programação e compilação de códigos para microcontroladores da família ATmega, possibilitando criar códigos complexos para Arduino, incluir bibliotecas de códigos auxiliares, verificar a sintaxe do algoritmo desenvolvido, compilar o código criado e gravar no microcontrolador escolhido, que neste estudo, é o ATmega2560, pois é o microcontrolador utilizado no Arduino Mega.

#### 2.2.2 Algoritmo em PHP

O PHP é uma linguagem de programação que atua diretamente no lado do servidor e é responsável por gerar conteúdo dinâmico na *internet*. Sendo principalmente utilizada em conjunto com a linguagem HTML, o PHP interpreta uma série de comandos, incluindo gerenciamento de banco de dados e cálculos, gerando uma página *web* que é enviada e visualizada pelo cliente, no navegador.

A linguagem PHP foi utilizada para a criação da interface *web*, para a geração do *link* acessível pelo Arduíno e pelo gerenciamento do banco de dados.

Com o servidor online e um nome de domínio personalizado já configurado, tornou-se possível acessar esse servidor apenas pelo nome de domínio, de modo que, ao acessar o *link*, o usuário é direcionado a uma pasta pública presente no servidor. Com o servidor criado, esta pasta é criada vazia, portanto, ao acessar o *link online*, apenas uma página em branco é visível.

Para transformar a página branca em uma página para visualização de estatísticas, foi criado um arquivo chamado *index.php*, que é executado automaticamente por causa do seu nome "*index*". Neste arquivo de linguagem PHP foi criada toda a interface da página *web*, com auxílio das linguagens de programação HTML e CSS. Ao acessar o *link* do servidor, o usuário visualiza automaticamente a página criada pelo arquivo *index.php*.

Para acessar e manipular as informações do banco de dados, alguns comandos básicos de SQL foram utilizados. O comando *SELECT* foi utilizado para a leitura das informações armazenadas, onde primeiro é necessário estabelecer uma conexão com o banco de dados, depois, informar pelo comando *SELECT* as variáveis e a tabela que deseja consultar, e por fim, as condições para a consulta dos dados, que são informadas pelo comando *WHERE*. Com isto, é possível ler informações específicas que estão armazenadas no banco de dados, e manipular as variáveis conforme necessário.

Um segundo arquivo de linguagem PHP foi criado, com o nome "lançardados.php", que é o arquivo acessado pelo Arduíno, responsável por incluir novas informações no banco de dados. Este arquivo possui uma função interna que desmembra o *link* acessado após a chamada do arquivo "lançardados.php", de modo que é possível coletar informações lendo o *link* informado. O arquivo espera um link com o seguinte formato:

*www.nomedosite.com/lançardados.php?temperatura=valor&umidade=valor*

Deste modo, se o *link* se adequar ao formato requisitado, o código em PHP desmembra o *link* após a palavra "lançardados.php", separando os valores de temperatura e umidade informados nele, para inseri-los no banco de dados através do comando *INSERT*, onde é necessário apenas estabelecer a conexão com o banco de dados, informar a tabela e a variável onde a nova informação deve ser adicionada.

Deste modo, o Arduíno consegue inserir informações no banco de dados de maneira simples e rápida, apenas acessando o *link online* correto.

#### 2.2.3 Algoritmo em HTML

A linguagem HTML é utilizada na construção de páginas *web* e é caracterizada pelo uso de marcações (ou *tags*, em inglês), que são os comandos de formatação da linguagem.

Neste artigo, a linguagem HTML foi utilizada em conjunto com a linguagem PHP na criação da parte visual da página *web*, onde a linguagem HTML faz a parte mais visual, definindo o tamanho dos textos, a fonte utilizada, a cor, os espaçamentos, enquanto a linguagem PHP faz a parte mais lógica, como o acesso ao banco de dados, os cálculos, a manipulação das variáveis, dentre diversos outros comandos.

### 2.2.4 Algoritmo em CSS

O CSS é uma ferramenta muito interessante, pois nela são definidos os estilos das páginas. Isso permite uma maior organização e comodidade, pois sendo um arquivo separado daquele em que está o código da página, é necessário inserir o arquivo de estilo, logo, é necessária a alteração em apenas um arquivo para fazer com que várias páginas HTML sejam alteradas.

A linguagem CSS permitiu que a página criada assumisse um nível visual mais profissional, com comandos que adequam a página criada a diversos tamanhos de tela, efetuam variações no *layout* e também, facilita a edição do visual por ser um arquivo independente dos demais.

### 2.2.5 Algoritmo em SQL

SQL é uma linguagem utilizada para fazer consulta, atualização, inserção ou remoção de informações nos bancos de dados. No artigo essa linguagem foi utilizada juntamente com o PHP, concretizando a ponte entre o banco de dados e a página *web*. A linguagem SQL possui diversos comandos para a manipulação das informações do banco de dados, dos quais os mais utilizados são os comandos *SELECT* para ler informações, *INSERT* para inserir informações, *UPDATE* para atualizar informações já existentes e o *DELETE* para excluir informações do banco de dados.

O comando *WHERE* também foi utilizado em conjunto com os demais comandos para fazer a seleção de linhas e colunas no banco de dados, de modo a selecionar informações específicas que estão armazenadas sem que seja necessário um filtro complexo para as tabelas. Os comandos em SQL foram de vital importância, pois possibilitam a conexão direta de qualquer interface com o banco de dados, e isto permite inserir, atualizar, deletar, ou buscar informações para construir a página *web* com os dados coletados.

## 2.3 Página *web*

Fazendo uso das linguagens de programação para desenvolver o banco de dados e a página *web* pode-se criar uma estrutura de exibição dos dados coletados em tempo real, ao mesmo tempo em que são armazenados no banco de dados. Para a apresentação, foram desenvolvidos gráficos de linha com o auxílio do *Google Charts*, uma plataforma com diversos assuntos relacionados à programação e organização de *sites*.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados coletados pelo módulo supervisor são exibidos em tempo real na página desenvolvida, ao mesmo tempo em que são armazenados no banco de dados. As últimas informações lançadas no banco de dados são mostradas no topo da tela, juntamente com a data e a hora em que foram inseridas, conforme é mostrado na Fig. 2.




Figura 2. Dados de temperatura e umidade em tempo real

Essas informações em tempo real são atualizadas automaticamente toda vez que o Arduino acessar o banco de dados, de modo que a temperatura e a umidade estão sempre com o valor mais atual.

Quando novas informações são inseridas no banco de dados, os valores de temperatura e umidade anteriores são alocados em uma lista de até 288 valores, o que equivale a 24 horas de amostras coletadas, para que seja possível gerar os gráficos das amostras, como é mostrado na Fig. 3.

O gráfico de amostras apresenta um histórico detalhado do comportamento de cada parâmetro, possuindo uma aba específica para temperatura e outra para umidade, de modo que os gráficos podem ser visualizados separadamente.

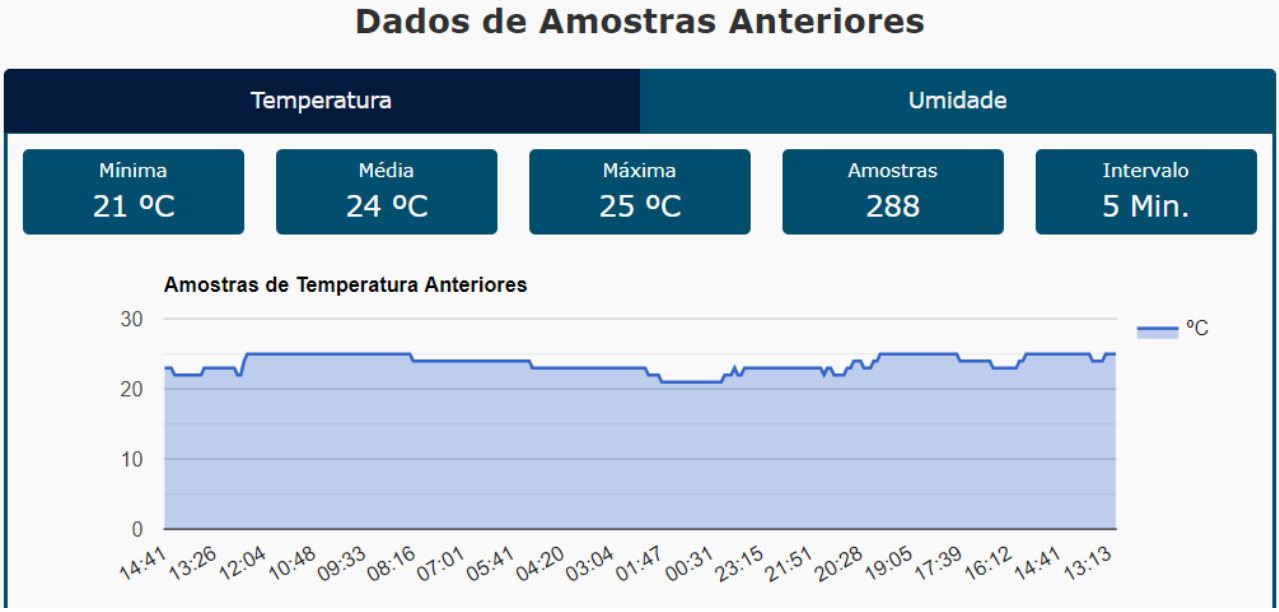



Figura 3. Últimas 24 horas de dados mostrados em gráfico de valores

Logo abaixo do gráfico de amostras anteriores, é apresentado um registro de erros, conforme a Fig. 4.

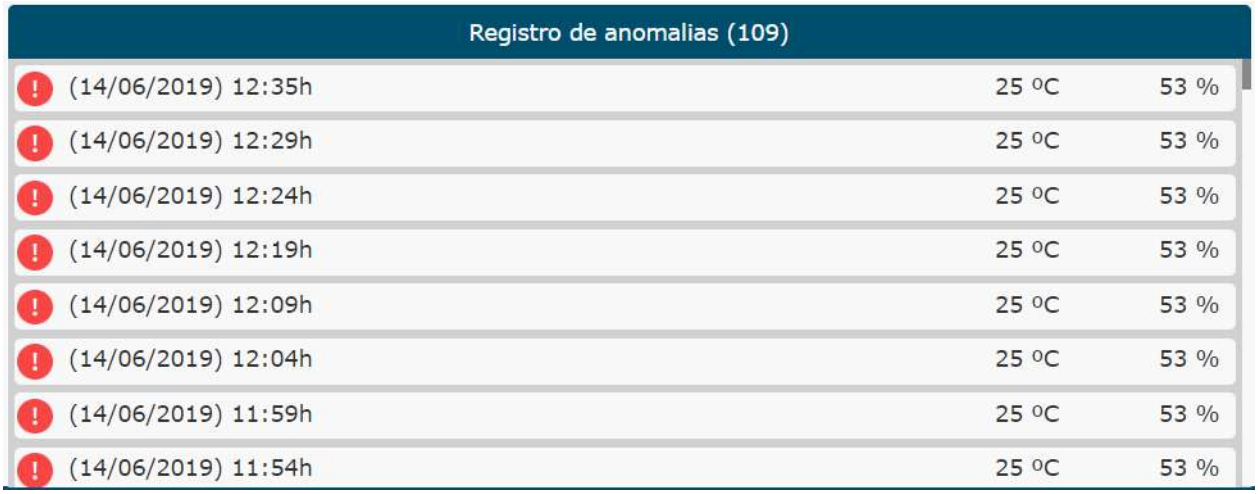



Figura 4. Registro de erros das últimas 2000 amostras coletadas

O gráfico de erros compara os valores das últimas 2.000 amostras coletadas, o que equivale a 7 dias de amostragem, com os valores limites estabelecidos nas normas, de acordo com cada local de medição.

No caso dos dados da figura 4, o equipamento do estudo esteve instalado em uma UTI, onde os limites de temperatura variam de 21ºC a 24ºC e os limites de umidade variam de 40% a 60%, conforme é estabelecido na NBR 7256. Deste modo, o equipamento foi configurado para os limites de uma UTI, passando a gerar registros de anomalias quando algum dos parâmetros esteve fora dos limites estabelecidos, registrando a data e hora do problema, bem como a temperatura e a umidade no momento do ocorrido.

Por fim, para prevenir que pessoas não autorizadas visualizem os dados coletados, a página inteira está inserida em um sistema de *login*, de modo que somente os usuários que estão cadastrados no banco de dados podem visualizar as estatísticas geradas. A página completa desenvolvida é apresentada na Fig. 5.

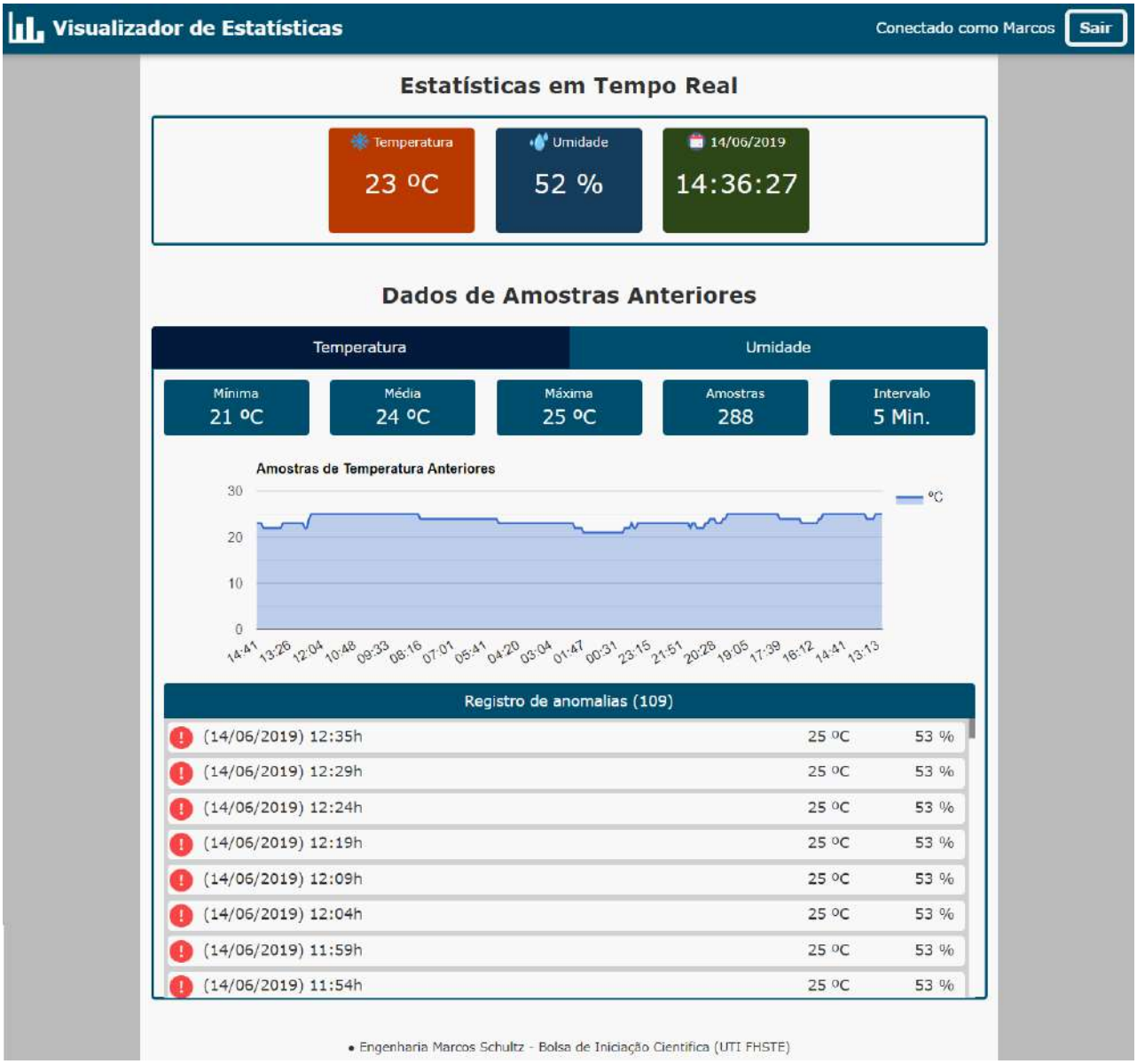



Figura 5. Página web completa, com sistema de *login*, estatísticas em tempo real, gráficos e registro de anomalias

Com a página completa, é possível monitorar os dados coletados em tempo real, além de visualizar um histórico dos parâmetros mensurados. Também é possível ver um histórico completo de erros dos últimos 7 dias de amostras, permitindo verificar a adequação do ambiente as normas técnicas brasileiras.

## 4. CONCLUSÕES

Com o sistema finalizado foi possível levantar estatísticas detalhadas sobre os parâmetros de cada local monitorado, bem como as possíveis causas de anomalias, pois é mostrado um registro de data e hora em que os problemas acontecem, bem como a variável que está fora das normas assistenciais, o que torna o diagnóstico do problema mais simples e eficiente.

Este sistema de monitoramento é importante para a gestão da qualidade dos serviços hospitalares, visto que a maioria destes ambientes no Brasil não possui monitoramento de variáveis ambientais, o que torna difícil a identificação de locais comprometidos ou insalubres. Com um sistema de monitoramento em tempo real, a qualidade dos ambientes hospitalares pode ser melhorada, prevenindo possíveis problemas provenientes da temperatura ou da umidade nestes segmentos por estarem em valores divergentes do ideal por norma.

## 5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Regional Integrado do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim pelo fomento e por disponibilizar os laboratórios de eletrônica, ao GEAPI – Grupo de Engenharia Aplicada a Pesquisa e a Indústria e ao estabelecimento hospitalar envolvido, que disponibilizou suas dependências a fim de validar e qualificar o sistema de aquisição de dados em tempo real proposto.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2005. *NBR 7256: Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) - requisitos para projeto e execução das instalações*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1991. NBR 5413: *Iluminância de interiores*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2013. *NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho*. Rio de Janeiro.

Bampi, S.; Reis, C. S.; Schultz, M. I. 2017. "Plataforma Tecnológica Aplicada à Coleta de Parâmetros Ambientais em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde"**.** *IX Congresso Internacional de Gestão, Tecnologia e Inovação*, Erechim.

Carayon, P. 2012. *Handbook of Human Factors and Ergonomics in Health Care and Patient Safety*. CRCPress, 2012.

Delgado, M. A. 2016. *Proposta de Metodologia do Uso da Engenharia de Fator Humano para Suporte da Gestão de Tecnologia Médico Hospitalar*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Elias, G. A. 2013. *Metodologia para Avaliação de Parâmetros Ambientais em Serviços de Saúde*. Tese Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Elmasri, R.; Navathe, S. B. 2011. *Sistema de Banco de Dados*. 6ª ed. São Paulo: Pearson Education.

Smith, R. J. 2018. "Wide range of Hygrometers: DHT22, AM2302, AM2320, AM2321, SHT71, HTU21D, Si7021, BME280". <https://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_many.html>.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# *CULTURA NERD E O CRESCIMENTO DA MODA GEEK NO BRASIL*

**REIS, Micheli Vieira**[1]
**OLIVEIRA, Natálie Pacheco**[2]
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul,
[1] michelireis97@gmail.com, [2] natalie.oliveira@erechim.ifrs.edu.br

***Resumo:*** *O presente trabalho tem por objetivo analisar a evolução da cultura nerd/geek, apresentar as principais tendências e divisões de comportamento. Para este estudo foi adotado o método de pesquisa bibliográfica, acerca da cultura nerd e sua gama de subgrupos, onde se buscou descobrir os principais conceitos da cultura nerd e suas características, além do crescimento da moda geek em três grandes magazines do Brasil. Este estudo consiste na modalidade de pesquisa, ao qual inclui material de diferentes formatos como revistas, artigos, jornais, anais de eventos científicos e material disponível na internet. Para tanto percebeu-se que é importante direcionar o olhar para esse público por serem fortes consumidores. Concluímos que é um nicho em desenvolvimento para se investir e impulsionar a economia.*

***Palavras chave:*** *Cultura Nerd, Geek, Consumismo.*

## 1. INTRODUÇÃO

A figura do Nerd surgiu na década de 50 retratando jovens estudantes com um alto nível de inteligência, que eram reclusos dos círculos sociais, tanto pela obsessão pelos estudos como pela falta de jeito em socializar. Mais tarde por volta de 1990 com a globalização tecnológica e os nerds ganhando popularidade por meio das mídias cinematográficas e de consumo, o desenvolvimento de muitos subgrupos derivados dos nerds começou a surgir como os *geek*, que eram uma versão descolada do nerd, eles não tinham dificuldade em socializar e era apaixonado por tudo que era novidade principalmente tecnológica. A partir dos *geek* surgiram os *dark* e os *dweeb* que eram considerados o lado mais antissocial dos nerd e com um domínio de conhecimentos menos abrangente. E não parou por aí, outras ramificações nasceram com o passar do tempo.

Boa parte do crescimento desse grupo se deu pelas mídias cinematográficas, pois deu visibilidade e popularidade a ícones do meio nerd que fizeram sucesso e fama, como os criadores da *Apple*, Matos (2011, p.1) o estereótipo que antes os procedia dos filmes da década de 80 começa a ser deixado de lado. E os gostos desses jovens além de estar nas telas dos cinemas passa a ser objeto de consumo, a estar na moda. Com essa reviravolta esses indivíduos passam a ser bem-vistos pela sociedade passando a sofrer menos preconceito.

Para este estudo foi adotado o método de pesquisa bibliográfica, acerca da cultura nerd e sua gama de subgrupos, onde se buscou descobrir os principais termos que nomeiam cada grupo dentro da cultura nerd e algumas características que os diferenciam, além do levantamento de informações sobre o crescimento da moda *geek* em três grandes magazines do Brasil. De acordo com Gil (2010, p.29) "(...) tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, fez-se o uso de revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos. (...) E por efeito de novos formatos de informação, a pesquisa passou a incluir outro tipo de fonte, a do material disponível na internet."

A pesquisa abordou a importância que as mídias tiveram na modificação de significado do termo nerd tirando o sentido pejorativo. Sendo que os indivíduos que pertencem a esse grupo são fortes consumidores. Há muito no que se investir, esses consumidores movimentam diferentes ramos do mercado, eles não se atrelam apenas ao meio tecnológico e cinematógrafo, o mercado da moda foi um dos setores que teve um grande crescimento e não só ele como muitos outros setores conseguiram crescer graças aos hábitos de consumo dos adeptos dessa cultura.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Nerds e seus estereótipos

O surgimento do termo nerd é incerto existem muitas divergências quanto sua etimologia. De acordo com Santos (2011), a primeira vez que se ouviu falar de um registro documentado sobre o termo nerd foi em um livro infantil do escritor norte-americano de livros infantis Theodore Seuss Geisel chamado "If I Ran The Zoo", referindo-se ao nome de uma criatura de zoológico. No livro ele descreve o nerd como uma pessoa alta, vesga e magra. E em 1951 o termo nerd foi usado pela revista Newsweek para "quadrado" e em 1960 nos EUA foi associado a "devorador de livros" e "inaptidão social.




Figura 1: *Nerd.If I ran the zoo.Dr Seuss*. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/2014_GuilhermeKazuoLopesYokote_VOrig.pdf

Outras explicações para o termo surgiram mas a mais aceita é a do livro do Dr. Seuss. A outra versão mais recorrente é a que começou no Canadá, em um laboratório de tecnologia de uma companhia de energia elétrica: *Northern Electric Researchand Development (N.E.R.D)*, o laboratório ficou conhecido por ter jovens de jaleco branco que aplicavam todo seu tempo em pesquisas e no desenvolvimento de experiências. Para Pereira (2008) esse laboratório passou a ser visto como sinônimo de jovens branquelos de óculos espessos, vidrados num computador, que não costumavam estar ao ar livre. Independente da versão todas apontam para os mesmos signos sendo eles a falta de interação social ou a inteligência desenvolvida.

Nas escolas e universidades eram caracterizados como jovens anti-sociais de pele alva, aparelho ortodôntico, cheios de acne, solitários e esquisitos, eram alvo de piadas e ofensas, sempre andavam com livros debaixo dos braços, e escolhiam estar em lugares privados. Chamar alguém de nerd era quase um insulto. Desse modo, eram excluídos dos grupos dos jovens que eram considerados os "populares", pois estes gostavam de freqüentar lugares públicos e praticar esportes, estar nas ruas, ir a shows de rock, festas, etc.

De acordo com Galvão esse cenário se deve ao movimento hippie que estava começando a crescer na década de 60, ganhando todos os dias novos membros sendo eles em sua maioria os jovens. Muitos pais com medo que seus filhos entrassem nessa onda hippie resolveram direcionar a atenção desses adolescentes aos estudos, com a intenção de mantê los longe de protestos, sexo livre e drogas. Este comportamento favoreceu o estilo de vida recluso do nerd. Foi nesse momento que o nerd passou a ser usado em tom pejorativo, os jovens que se encaixavam nesse perfil passaram a sofrer preconceito, sendo enquadrados e ridicularizados pela sociedade.

Outra característica que foi associada aos nerds e começou a se desenvolver na década de 70 conforme explica YOKOTE (2014) foi a relação do nerd com um determinado conjunto de bens culturais imersos principalmente na cultura pop, dentro desse conjunto está os quadrinhos, vídeo games, séries, filmes sem deixar de fora a literatura. O interesse desse público nesses bens culturais é devido ao impulsionamento de algumas temáticas específicas como a ficção científica e aventura fantástica. A primeira com base na ciência e a segunda na literatura sendo essas áreas de interesse dos nerds.

O interesse desses jovens por esse universo se tornou visceral, um dos ícones mais emblemáticos para esse público é a franquia Star Trek - Jornada nas Estrelas que estreou em 1966 e teve seu fim em 2005 com o lançamento de 12 filmes. A franquia se tornou tão importante por muitos fatores não só pelo sucesso em audiência como pela onda de fãs aficionados que passaram a organizar convenções voltadas exclusivamente para conversar, interagir e trocar experiências sobre a franquia. O culto a Star Trek rendeu aos fãs a nomenclatura de Trekkrs.

Esse nerd apaixonado por esse universo de filmes, games, quadrinhos é visto pelo imaginário popular como outro radical, sendo alguém que as pessoas não queriam ser. Para YOKOTE (2014) decorar falas de episódios favoritos de séries, promover eventos temáticos sobre filmes e programas de televisão, passar horas conversando sobre roteiro, personagens e ainda se vestir como os personagens, para o senso comum esse tipo de pessoa não poderia ser normal, era um completo fanático.

No Brasil o termo "nerd" ganha outras expressões como "caxias" e "CDF" - (cérebro de ferro e\ou crânio de ferro) sendo que CDF era associado a pessoas que estudavam muito. Além da dedicação nos estudos e do bom desempenho escolar, o comportamento e conduta desse nerd\CDF era um dos motivo pelo qual era zombado, visto como alguém muito "certinho", um sujeito que escolhe passar seu tempo estudando ao invés de gastar seu tempo com assuntos comuns como os demais jovens, um jovem que corresponde às expectativas dos pais. Para eles o que realmente seria valorizado e era o

mais importante era ter inteligência e não um porte físico atlético, ser bonito ou popular segundo os padrões estabelecidos YOKOTE (2014).

Com a ascensão da tecnologia de 1970 a 1980 e ganhando força nos anos 1990 que o termo começou a ganhar uma visão mais positiva, com a atenção voltada para as tecnologias que ganharam status, muitas pessoas começaram a ter interesse e ver como objeto de desejo as novas tecnologias. Os nerd estavam um passo à frente graças a popularização da tecnologia. Essa nova sociedade da informação que estava emergindo, exigia "cada vez mais, conhecimento em tecnologias, predisposição à novidades, dedicação aos estudos, curiosidade científica, etc" (GALVÃO, 2009, p. 35-36). O nerd se tornou alguém requisitado sobre tecnologia. O lançamento de filmes e seriados como *"A Vingança dos Nerds"* ajudou a disseminar essa outra visão sobre o nerd, o filme mostra o extraordinário sucesso de jovens como Steve Jobs e Stephen Wozniak, fundadores da *Apple*, (Apple Inc. é uma empresa multinacional norte-americana que tem o objetivo de projetar e comercializar produtos eletrônicos de consumo, software de computador e computadores pessoais), esses rapazes se tornaram milionários manipulando a mesma tecnologia que os havia marcado como nerd. Daí a dita "vingança" desse grupo, o que era vergonha passou a ser motivo de orgulho.

Hoje em dia o nerd é visto como uma pessoa mais sociável, que tem amigos, relacionamentos, e que costumam ter um interesse extremo e obsessivo com livros e estudos, também por diferentes assuntos acadêmicos ou não, ao ponto de pesquisar e aprofundar-se, dominando aquele assunto. Muitos elementos tornaram-se símbolo da comunidade nerd além dos filmes, faz parte também da literatura nerd, livros de física,química, quadrinhos, filmes de ficção científica, games, RPG, Card Games, seriados, entre outros objetos. Por esse motivo a cultura nerd ganhou seu próprio mercado FEDEL ( 2016).

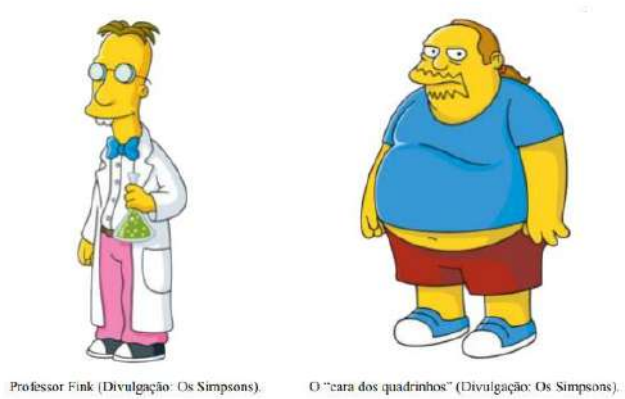



Figura: O nerd da ciência e o nerd dos quadrinhos. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/2014_GuilhermeKazuoLopesYokote_VOrig.pdf

## 2.2 Nerd e suas ramificações

Com a popularização desse grupo outros subgrupos surgiram, como os "geek", que são descritos como sinônimo de nerd, mas sem toda a conotação pejorativa que o termo carrega. Segundo o site Significados (2017), a palavra geek teve seu primeiro registro por volta de 1876, a princípio era o sinônimo de bobo, usado para designar pessoas excêntricas. Depois foi direcionado aos artistas de rua que trabalhavam divertindo o público, com cenas bizarras como quebrar o pescoço de uma galinha viva com os dentes e comer insetos (bugs em inglês) tipo de espetáculo que ficou conhecido como *Geek Show*.

Mais tarde, foi usado para descrever uma geração diferente de nerds, por volta da década de 80\90 com o desenvolvimento dos computadores surgiram os geek computer. Eram programadores que viviam incansavelmente tentando resolver os *bugs* (insetos) dos computadores, daí surge a analogia com computador ou seja eles eram geeks cibernéticos "comiam os bugs do computador", eram profissionais que ganhavam a vida comendo bugs ou seja resolviam problemas de computador. Até esse momento não era nada bom ser chamado de geek, mas tudo muda "em 1990 Jargon File, um glossário digital criado no MIT-Al antes de virar o livro 'Hacker's Dictionary, definiu geek como: "uma pessoa que escolheu a concentração no lugar da conformidade; alguém que busca objetivo (em particular, técnicos) e imaginação, não a adequação social padronizada" DIAS (2019). Ser chamado de geek não era mais uma ofensa pois com a mudança de sentido passou a ser uma escolha da pessoa que se identificava com o "ser geek".

Os geek de maneira geral sofrem de neofilia (atração por tudo aquilo que é novidade) principalmente por tecnologia. tem interesse por games, cultura pop, códigos, eletrônicos, gadgets. Diferente dos nerds, os geeks não abdicam da vida social, tendo mais facilidade de se relacionar. Enquanto geek é relacionado a coisas nerd é mais próximo de ideias.

Em uma entrevista feita pelo Jornal Bem Paraná (2018) com Octavio Maron, diretor de uma agência de publicidade que se considera um geek, ele explica porque não gosta que o chamem de nerd. De acordo com Maron há uma sutil diferença entre um e outro. Ele diz que usa muito a internet, sempre quer adquirir muitos produtos eletrônicos, mas diz que a internet não é sua prioridade. Gosta de ir a baladas e restaurantes, assim como gosta de utilizar a tecnologia para conhecer pessoas e compartilhar conhecimento.

Existem sinônimos atribuídos ao geek como os termos *dork* e *dweeb* que carregam muito mais negativismo em seu significado do que o termo nerd. Esses dois termos são gírias americanas, segundo Manfra (2009), "dork é uma classe de pessoa que não tem preocupação com a opinião do mundo sobre ele, e, portanto, faz o que gosta quando e onde quiser, [...] gosta de RPGs, computadores, fantasias e ficção. Muitas vezes acredita ser algum personagem fictício e age e se veste como tal".

Geralmente, a imagem associada a eles é de anti-sociais, sendo que a diferença de um dork para um nerd seria o nível de inteligência, enquanto um entende um pouco de tudo (nerd), o outro não possui tanto conhecimento (dork), e vive em um universo introspectivo e obsessivo por algum tema específico.

O dweeb é retratado como um total inepto social. Não se relaciona com outras pessoas pois acha que não terá como adquirir algum conhecimento com outra pessoa, preferindo ficar enclausurado, navegando por horas na internet em blogs, fóruns ou redes sociais. Os dorks e os dweeb são identificados como nerds anti-sociais extremos. O diagrama de Venn (Figura 1), encontrado no site Arquitecturas Wordpress apresentado abaixo mostra características de cada subgrupo de nerd,

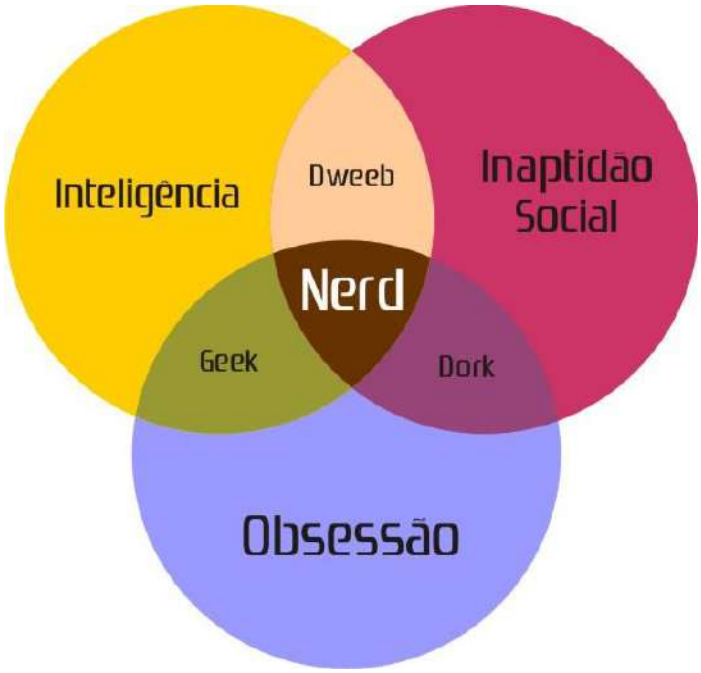



Figura 1. Principais características dos nerds. Disponível em: <https://arquitecturas.wordpress.com/2010/04/04/ >

Além desses subgrupos mencionados, existem outras ramificações que surgiram em consequência da globalização tecnológica, que fez com que essa cultura *nerd* cresce-se e ganha-se novos adeptos que se identificam e moldam suas identidades baseados nas características que mais se enquadram com seu perfil e personalidade. De acordo com Fedel "Pensar em uma cultura Nerd é entender que esses indivíduos constroem modos de vida, maneiras de ser, de fazer e de sentir que os tornam diferentes dos "outros, e os identificam entre si" (FEDEL, 2016, p. 123). O autor do site Monge Nerd (2011) cita alguns exemplos das ramificações oriundas desse universo híbrido dos nerds, na tabela 1 abaixo é possível ver o grupo e pelo que se interessa.

Tabela 1: Ramificações derivadas do Nerds

| | |
|---|---|
| **HIPSTERS** | Confundido com geek, mas usam as roupas deles somente por estética. Não têm muito conhecimento sobre os assuntos de interesse nerd. |
| **HACKERS** | É um nerd com profundo conhecimento técnico em computadores, programação e suas vertentes. |
| **GAMERS** | Fãs e compulsivos em videogames. Tem total conhecimento em todos os consoles e games das mais diversas plataformas. |
| **RETRO-GAMERS** | Fãs e compulsivos em videogames. |

| | |
|---|---|
| **CARDS-GAMERS** | Fãs e compulsivos em Cards (Yu-Gi-Oh, Pokémon, etc.). |
| **BOARD-GAMERS** | Fãs e compulsivos em jogos de tabuleiros. |
| **RPGISTAS** | Fãs e compulsivos em jogos de RPG (Role Playing Game). |
| **OTAKUS** | Fãs e compulsivo por Animes, Mangás, Cosplay e pela cultura japonesa. |
| **FANBOYS** | Fãs e compulsivos por determinado console, desprezando os demais. |
| **FANBASES OU FANDOMS** | Fãs e compulsivos por uma ou conjunto de obras específicas, como: Lord of The Ring, universo Senhor dos Anéis; Star Warriors, universo Star Wars;entre outros. |

### 2.3 Cultura nerd e consumo

Com tantas divisões que surgiram dentro desse grupo, é possível notar e delimitar de forma abrangente algumas particularidades em comum entre os nerds, como a obsessão de colecionar e consumir tecnologia, videogames, produtos da cultura nipônica, action figures, e quadrinhos, filmes e séries. Esses hábitos de consumo dos nerds geralmente é algo que vem da infância e se prolonga da adolescência para a vida adulta, é uma das características mais marcante da cultura nerd. Segundo Santos et tal (2015, pág 11) "talvez seja a única cultura juvenil em que seja possível levar seus hábitos para a idade adulta de maneira consistente e, por que não dizer, resistente".

De acordo com Matos (2011), o consumo midiático é uma das principais bases que constroem a cultura nerd, esse consumo constitui o aspecto fundamental na formação da sua identidade e do seu social, ou seja, o que o nerd consumir é o que vai o identificar como tal. Segundo o autor muitas pessoas consomem os mesmos produtos que os nerds como livros, filmes e ipod, mas a diferença de um nerd para um não- nerd é como cada um faz uso desses produtos, sendo que o significado que esses produtos ganham na vida de um nerd é importante ao ponto de constituir sua identidade.

Nas últimas duas décadas os nerds tem ganhado Santos et tal (2015) visibilidade e cada vez mais investimentos e produtos no mercado capitalista. Segundo a Associação Brasileira de Licenciamento (Abral, 2018) o mercado de produtos nerd tem movimentado em média R$18 bilhões ao ano, profissionais de diversos âmbitos atentos a esse crescimento passaram a investir na área visando expandir os negócios nesse nicho de mercado em ascensão. Alguns setores se destacaram ao investir, como o calçadista, Action Figures (produtos colecionáveis), tecnológicos (eletrônicos), cinematográficos.

A moda não ficou para trás, é uma das áreas que tem feito sua parte em movimentar os lucros desse mercado. O Jornal Bem Paraná entrevistou a consultora de Moda e especialista em comportamento e tendências Irina Cypel sobre a moda geek, conforme Cypel o estilo de vida dos nerd\geek é um estilo que está sendo disseminado e já chegou nas passarelas internacionais, o modo descolado de se vestir, o estilo próprio desse grupo está muito presente na Europa, e logo vai bombar no Brasil, "usam óculos de acetato com armação grossa e lente de grau, roupas mais justas, jeans, camisa por dentro da calça e tênis. Esse visual tem inspirado até mesmo os não-nerds, e é facilmente visto em áreas moderninhas, como o Saint Germain desPrès, em Paris, ou em Londres (PARANÁ, 2018)". Lara (2008 p, 143), o consumo de produtos oferece ao indivíduo visibilidade perante o grupo e cria identidades sociais, refletidas, por exemplo, no consumo de produtos de moda.

### 2.4 Empresas que apostaram na moda Geek

Três grandes empresas voltadas ao mercado de moda no Brasil perceberam que havia uma demanda a ser suprida. Sendo um mercado com grande potencial de crescimento, mas com pouco investimento. As lojas Renner S.A., Riachuelo e C&A resolveram investir na moda GEEK sendo que a Lojas Renner S.A uma das maiores lojas de departamento do país foi a primeira a começar trabalhar no lançamento de produtos de moda para esse público em 2010. O portal de notícias da Gaúcha ZH entrevistou a gerente de estilo da Renner Fernanda Feijó, segundo ela,

> [...] a empresa notou esse mercado há cerca de quatro anos. Na época, a ideia era suprir um público carente de produtos locais. Hoje, o quadro é bem diferente. - Saímos da curva do nicho para entrar na curva da moda, ou seja, quem compra camiseta com estampa do Hulk agora não é só o fã do Hulk - diz. Além de super-heróis das duas maiores editoras de quadrinhos, Marvel e DC Comics, a Renner também aposta em produtos derivados de seriados (The Big Bang Theory, Game of Thrones), filmes (Drácula, Star Wars) e games clássicos da Nintendo e Atari. Para Fernanda, o investimento é seguro porque o segmento irá se manter mesmo quando deixar de ser popular: - O grande público pode até deixar de se interessar, mas os fãs permanecerão (GAÚCHA ZH, 2014).

A coleção lançada foi agregada dentro da marca Blue Steel, que traz um lifestyle jovem com um visual moderno e despojado. Renner (2019) dentre as peças mais vendidas, tanto em moda feminina, como masculina, estão às camisetas de heróis. Essas peças fazem muito sucesso entre os geeks e também entre aqueles que querem mostrar séries, filmes ou os personagens de quem gostam. A loja promove promoções de diversos produtos no dia 25 de maio sendo essa uma data importante para o público geek em todo o mundo, O Dia da Toalha, conhecido também como o dia do Orgulho Nerd data

essa que faz referência ao livro clássico “Guia do Mochileiro das Galáxias”, do autor Douglas Adams. Esse dia é usado para homenagear e promover a cultura geek dentro e fora da internet.

A Riachuelo lançou sua primeira coleção em 2016, em seguida se tornou a maior detentora de produtos licenciados do Brasil, com coleções inspiradas em clássicos do cinema, do mundo dos games e dos quadrinhos. A Riachuelo (2017), desenvolveu uma gama de produtos desde peças de roupa até moda para a casa, inspirados em personagens de Harry Potter, Star Wars, Game of Thrones, DC Comics, Marvel, Senhor dos Anéis, Jurassic World e Mario Bros, entre outros.

A Riachuelo tem estado presente em um dos maiores encontros de cultura pop do mundo realizado em São Paulo a Comic Com Experience, desembarcaram na feira com mais de 70 mil itens para a comercialização. O investimento foi grande, e os resultados também, ao ponto de a moda geek ser uma categoria individual na plataforma de vendas online.




Figura 2: Foto da plataforma de vendas da Riachuelo. Disponível em: https://www.riachuelo.com.br/blogging/riachuelo-now/riachuelo-geek-ccxp17.html

A lojas C&A não ficou para trás em 2017 lançou sua primeira coleção inspirada nos personagens da DC COMICS. Uma coleção que muito surpreendeu, uma coleção para o carnaval, incluindo roupas e acessórios. Dentre as três empresas, a que mais tem investido e crescido nesse mercado é as Lojas Riachuelo, com um vasto número de peças, acessórios e moda casa.

## 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este artigo, buscou-se mostrar a evolução da cultura nerd, um grupo que cresceu às margens da sociedade e que sofreu muitas transformações até conquistar espaço nas mídias e na indústria. O estereótipo que a mídia disseminou a respeito dos nerd durante décadas ainda hoje é algo que permanece no imaginário popular. Dentro da cultura nerd há muitas ramificações, mas nota-se que independente da ramificação que o indivíduo se identifique e molde sua identidade social, esse indivíduo ainda faz parte desse grande grupo que são os nerd.

Nos últimos anos com a tecnologia se tornando cada vez mais importante no cotidiano, os nerds passaram a ser um pilar importante na sociedade moderna, tornaram-se pessoas influentes e bem sucedidas no mercado de trabalho, ganhando um mercado voltado especialmente para atender suas demandas e necessidades ao se transformarem um grupo intelectual e economicamente destacados diante da sociedade. Um dos setores que teve grande destaque foi o da Moda, ao trazer o visual geek para os holofotes, trouxe também um estilo moderno que entrou em cena refletindo essa nova fase em que o grupo se encontrava, com elevada autoestima.

Além de apresentar um pouco sobre o surgimento dos nerds e sua gama de subgrupos, também buscou-se mostrar a importância da cultura nerds no desenvolvimento da economia, assim como oferecer um ponto de partida para uma reflexão sobre as mudanças de estereótipos na sociedade e sua representação nas mídias cinematográficas.

## 4. REFERÊNCIAS

ARQUITECTURAS. Versión Libre en Español: Geek / Nerd / Dork / Dweeb (Diagrama de Venn). Disponível em: <https://arquitecturas.wordpress.com/2010/04/04/ > Acesso em: 6 de set de 2019.

FEDEL, A. S, SILVA, J F. T. *Juventude e Cultura Nerd no Brasil: universos narrativos.* Revista Dito Efeito, Curitiba, v. 7, n. 11, p. 122-138, jul./dez. 2016. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/de/article/viewFile/5241/3509>Acesso em: 12 de nov de 2018.

GALVÃO, Danielle. Os nerds ganham poder e invadem a TV. In: Revista Científica Intr@ciência 1(1):34-41, 2009. Disponível em <http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170531154050.pdf> Acesso em: 15 de abr de 2019.

GAUCHA ZH. Pesquisa revela perfil do nerd brasileiro. Disponível em: https://gauchazh.clicrbs.com.br/cultura-e-lazer/noticia/2014/10/Pesquisa-revela-perfil-do-nerd-brasileiro-4626935.html> Acesso em 6 de set de 2019.

GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184p.

JORNAL BEM PARANÁ. *Conheça de onde surgiu o termo "geek".* Disponível em:<https://www.bemparana.com.br/noticia/82865> Acesso em: 17 de nov de 2018.

MANFRA, D. *Mas afinal o que são Geeks, Nerds, Dweebs e Dorks?* 2009. Disponível em: <https://g33k4ever.wordpress.com/2009/12/29/mas-afinal-o-que-sao-geeks-nerds-dwebs-e-dorks/ > Acesso em 12 de nov de 2018.

MATOS, Patrícia. *O nerd virou cool: identidade, consumo midiático e capital simbólico em uma cultura juvenil em ascensão*. XVI Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sudeste –Intercom. 2011. Disponível em: <http://www.intercom.org.br/papers/regionais/sudeste2011/resumos/R24-1149-1.pdf> Acesso em: 19 de nov de 2018.

NERD, M. *Classificações das personalidades nerds*. 2011. Disponível em:<http://www.mongenerd.com/2011/08/aprenda-de-uma-vez-por-todas.html> Acesso em: 18 de nov de 2018.

PEREIRA, Camila. *A Redenção dos Nerds.* Revista Veja, São Paulo, ed. 2050, ano 41, nº 9, p. 102- 105, 05 março 2008. Disponível em: <http://www.fndc.org.br/clipping/a-redencao-dos-nerds-233145/.> Acesso em: 15 de nov de 2018.

RIACHUELO. *Riachuelo Geek*. Disponível em: <https://www.riachuelo.com.br/blogging/riachuelo-now/riachuelo-geek-ccxp17.html> acesso em 23 de jul de 2019.

RENNER. *Sobre nós.* Disponível em https://www.lojasrennersa.com.br/pt_br/nossos-negocios/renner> Acesso em 5 de set de 2019.

RIMAQ. Moda Geek. Disponível em: <https://www.rimaq.com.br/blog/galera-da-moda-geek/>Acesso em 6 de set de 2019

SANTOS, Suzane de et al. *O Nerd no Centro do Mercado Midiático: Comunicação e Cultura Nerd.* pág, 11. XX Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sudeste – Uberlândia - MG. Disponível em <http://www.portalintercom.org.br/anais/sudeste2015/resumos/R48-0498-1.pdf .

YOKOTE. L.K Guilherme. *O mundo dos nerds, imagem consumo e interação.* 2014. pág, 153. Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social. Universidade de São Paulo. São Paulo. Disponível em:< file:///C:/Users/User/Downloads/2014_GuilhermeKazuoLopesYokote_VOrig.pdf> Acesso em: 25 de set de 2019.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

As autoras são as únicas responsáveis pelo conteúdo deste artigo.
The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROPOSTA DE PLANO DE GESTÃO A NÍVEL DE GRADUAÇÃO (PGENG) PARA O CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES – CÂMPUS DE ERECHIM

**Rafaela Mocfa Spica**
**Jessie Carvalho Bruhn**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Campus de Erechim
rafaelaspica@hotmail.com, bruhn@uricer.edu.br

***Resumo.*** *A crescente competição entre as Instituições de Ensino Superior (IES) demonstra a importância da competitividade e da necessidade de melhoria do planejamento das instituições, principalmente dos cursos que a compõe. Este estudo teve como objetivo principal a proposta de um modelo de Plano de Gestão à Nível de Graduação (PGENG) para o curso de Engenharia de Produção da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus Erechim. Foi realizada uma pesquisa aplicada, exploratória e qualitativa, por meio do método Design Science Research (DSR). Na Revisão de Literatura foram expostos conceitos e ferramentas de gestão estratégica para o desenvolvimento e sucesso da instituição. Por meio disso, foi feito uma proposta para o desenvolvimento estratégico do curso, onde conclui-se a relevância sobre um processo de gestão estruturado e planejado para os cursos das IES a fim do crescimento e melhoria contínua.*

***Palavras-Chave:*** *Gestão Estratégica; Planejamento Estratégico; Instituições de Ensino Superior; Ensino Superior; Estratégia; Competitividade.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em um mercado cada vez mais competitivo, inovador e com grandes mudanças, é essencial para a sobrevivência das organizações a existência de um processo de gestão estratégica. Inserido nesse contexto, está o ambiente educacional que passa por um processo robusto de transformações. É evidente que as Instituições de Ensino Superior (IES) privadas buscam alternativas relacionadas a gestão, que não sejam apenas referentes à questão do ensino, mas sim para seu desenvolvimento estratégico. Não obstante, essas transformações necessitam uma nova perspectiva, como por exemplo, a melhoria e a diferenciação dos cursos frente ao que hoje as pessoas procuram (GRANEMANN e ROCHA, 2003; SARAMAGO, 2007 e MACHADO, 2008).

O desenvolvimento de tecnologias de informação, comunicação e a globalização posicionaram e introduziram novas demandas as IES (ALVES; FERNANDES e MADURO, 2018). Diante disso, as IES buscam novos conceitos a respeito de gestão, como modelos e mecanismos que defendam as instituições de ameaças da concorrência, tendo processos mais adequados de gestão estratégica (SARAMAGO, 2007).

Diante disso, o principal objetivo desse estudo é propor um modelo de um Plano de Gestão à Nível de Graduação (PGENG) para o desenvolvimento estratégico do curso de Engenharia de Produção da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus de Erechim.

O atingimento do objetivo geral se dará a partir dos objetivos específicos (*i*), (*ii*) e (*iii*) conforme abaixo:

(*i*) levantar revisão de literatura a respeito dos conceitos, metodologias, ferramentas relacionadas a gestão estratégica de cursos de formação superior;

(*ii*) analisar práticas implantadas para gestão estratégica de cursos de nível superior;

(*iii*) estudar a universidade foco deste estudo, apresentando sua estrutura de gestão, bem como ferramentas para gestão estratégica do curso;

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Método da Pesquisa

O método da pesquisa utilizado nesse estudo é o *DSR (Design Science Research)*. Segundo Dresch *et al*. (2015), é um método que serve para orientar pesquisas que tem o propósito de desenvolver algo novo focando na mudança,

realiza a criação de artefatos, apresenta foco nas soluções para os problemas e é utilizado para pesquisas em áreas de gestão, gerando resultados relevantes e confiáveis.

O método DSR é composto em 12 passos (*i*) identificação do problema; (*ii*) conscientização do problema; (*iii*) revisão sistemática da literatura; (*iv*) identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas; (*v*) proposição de artefatos para resolver o problema específico; (*vi*) projeto do artefato selecionado; (*vii*) desenvolvimento do artefato; (*viii*) avaliação do artefato; (*ix*) explicitação das aprendizagens; (*x*) conclusões; (*xi*) generalização para uma classe de problemas e, (*xii*) comunicação dos resultados (DRESCH *et al*., 2015), e todos eles serão realizados nesse estudo.

### 2.2 Cenário Estudado

O cenário a ser estudado é a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus de Erechim. É uma universidade comunitária, sem fins lucrativos e inserida numa estrutura multicâmpus. O curso no qual será desenvolvido a proposta é o de Engenharia de Produção onde seu objetivo geral é formar profissionais que tenham um amplo conhecimento tecnológico, científico e profissional, sabendo como identificar e resolver problemas que estão relacionados à sua área, possuindo uma visão sistêmica, ética e humanística atendendo os requisitos da sociedade. Devem ter espírito crítico, resposta rápida, tomada de decisão e ser apto a coordenar equipes apresentando habilidades, como comunicação e valorização da profissão (PPC, 2017).

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Gestão Estratégica

Amoli e Aghashahi (2016) afirmam que a gestão estratégica é considerada uma ferramenta de solução para problemas organizacionais, além de permitir que a instituição adapte sua gestão às condições futuras. Ela abrange os fatores críticos do sucesso para os negócios, descrevendo desde a situação inicial existente delineando todo o processo futuro da organização. Segundo Parakhina *et al*. (2017), a gestão estratégica é designada dinâmica, de alta funcionalidade e apresenta uma resposta assertiva. Ela apresenta resposta flexível para com os problemas da organização, expondo análises, desenvolvimento de estratégias, planos e controles.

A análise dos ambientes é o primeiro passo para a construção de um processo de gestão estratégica e é indispensável para a avaliação de como a empresa está inserida no mercado. Uma forma de análise é a Matriz SWOT, na qual sua sigla significa *Strenghts*, *Weaknessess*, *Opportunities* e *Threats*, que pode ser traduzida como Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças, e aparece como um processo eficaz para análise dos ambientes externo e interno. (THAMRIN e PAMUNKAS, 2017).

Para saber como se defender da concorrência As Cinco Forças de Porter ajudam a criar uma visão de como a empresa é moldada e, também, observar o horizonte competitivo amplamente, diferente do sistema utilizado no dia-a-dia (PORTER, 2004). Com o propósito de definir o intuito da existência da organização, futuro desejado e os princípios básicos estão inseridos no planejamento estratégico a Missão, Visão e Valores da instituição (MACHADO, 2008).

Uma das ferramentas para elaboração de Planos de Ação é o 5W2H, onde "5W" do inglês refere-se a *What*, *Who*, *When*, *Where*, *Why* traduzidos para O que, Quem, Quando, Onde, Porquê. E 2H que se refere a *How* e *How Much* traduzidos para Como e Quanto. É uma metodologia que visa responder as questões para identificação e proposição de solução de problemas e também pode ser usada como um *checklist* de atividades que precisam ser desenvolvidas claramente (MOURA e CORECHA, 2018).

A fim da melhoria da educação, está o ciclo PDCA, do inglês *Plan, Do, Check, Act*, traduzido para Planejar, Fazer, Checar e Agir. É utilizado para a organização de processos dentro de uma empresa. Já para o controle, os indicadores têm a função de manter a monitoração das ferramentas implementadas. O KPI - *Key Performance Indicator* avalia o desempenho organizacional de uma empresa (KAIRUZ *et al*., 2016).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicia-se a proposta para estrutura do PGENG com uma associação das ferramentas estratégicas contidas no referencial teórico, *Brainstorming*, Análise SWOT, Cinco Forças de Porter, Missão, Valores, Visão, e uma junção das ferramentas Plano de Ação - 5W2H, PDCA – Ensino, Pesquisa e Extensão e *Key Performance Indicator* – KPI com o processo de gestão estratégica segundo Kahveci *et al*. (2012), apresentado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Relação Ferramentas PGENG/Etapas

| **FERRAMENTA** (Kahveci *et al*., 2012) | **FERRAMENTA** (Referencial Teórico) | **DEFINIÇÃO/ETAPA** |
|---|---|---|
| Planos e Programas | *Brainstorming* | **Análise da Situação** |
| Análise de Stakeholders | Análise SWOT | |
| Análise SWOT | Cinco Forças de Porter | |
| Propósito da existência da organização | Missão | **Missão e Valores** |
| Princípios Básicos | Valores | |
| Futuro Desejado | Visão | **Visão** |
| Objetivos para serem atingidos em prazo médio | Plano de Ação – 5W2H | **Metas e Objetivos** |
| Objetivos específicos, concretos e mensuráveis | | |
| Métodos para alcançar as metas e objetivos | | **Estratégias** |
| Planos de trabalho detalhados | PDCA – Ensino, Pesquisa e Extensão | **Atividades e Projetos** |
| Determinação de custos | | |
| Programa de desempenho | | |
| Orçamento | | |
| Descrever | | **Monitorar** |
| Comparar | | |
| Feedback | *Key Performance Indicator* - KPI | **Desempenho, Avaliação e Medição** |
| Determinação de métodos de medição | | |
| Indicadores de performance | | |
| Avaliação do progresso e resultados | | |

Na etapa Análise da Situação, inicia-se com o *Brainstorming* realizado com o Núcleo Docente Estruturante (NDE) que compõe o curso. Foram discutidas questões a respeito de ferramentas que são utilizadas para gerir o curso, no qual o Núcleo afirma existirem planos de melhorias correspondentes ao resultado da avaliação institucional em que os acadêmicos realizam semestralmente. Sobre as metas/objetivos do curso, declaram que são realizadas em casos pontuais, quando se faz necessário, ou quando ocorre alguma ideia ou comentário em reuniões, realizadas com frequência de duas a três vezes por semestre. É relatado também a importância da opinião dos acadêmicos para a gestão do curso. Quando perguntados sobre o que esperam do curso de Engenharia de Produção daqui há cinco anos, esperam um *marketing* que venha a tirar dúvidas do egresso sobre o curso de Engenharia de Produção e também que essa divulgação fortaleça a entrada dos mesmos.

Após a realização do *Brainstorming* com o NDE, foi efetuada uma entrevista que envolve a coordenação do curso. As respostas das perguntas encontram-se descritas no decorrer das ferramentas e serão utilizadas para a execução das próximas etapas do PGENG. A fim do prosseguimento do PGENG, na etapa de Análise da Situação, é estruturada a Matriz SWOT, apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz SWOT do PGENG: Engenharia de Produção URI Erechim

| **Matriz SWOT** | Fatores Positivos | Fatores Negativos |
|---|---|---|
| Fatores Internos | **S-Strengths**<br>**(Forças)**<br>(*i*) Corpo docente qualificado;<br>(ii) Infraestrutura da universidade;<br>(*iii*) Laboratório de projetos colaborativos;<br>(*iv*) Projeto URI Indústrias;<br>(*v*) Parceria com a Siemens;<br>(*vi*) Participação no programa Baja SAE Brasil;<br>(*vii*) Capacidade de adaptação. | **W-Weaknesses**<br>**(Fraquezas)**<br>(*i*) Não fomenta rotas de transporte para cidades de interior;<br>(*ii*) Número baixo de docentes;<br>(*iii*) Divulgação do curso;<br>(*iv*) Estrutura própria do curso;<br>(*v*) Turmas dissociadas. |
| Fatores Externos | **O-Opportunities**<br>**(Oportunidades)**<br>(*i*) Curso inserido em uma região rica;<br>(*ii*) Questão econômica do país. | **T-Threarts**<br>**(Ameaças)**<br>(*i*) Concorrência;<br>(*ii*) Questão cultural. |

Finalizando a aplicação da Matriz SWOT, ainda na etapa da Análise da Situação encontram-se na Tabela 3, as Cinco Forças de Porter aplicadas no curso de Engenharia de Produção.

Tabela 3 – Cinco Forças de Porter do PGENG: Engenharia de Produção URI Erechim

| Cinco Forças de Porter | Questionamentos/Variáveis a serem consideradas |
|---|---|
| **Rivalidade entre os Concorrentes** | **Universidades/faculdades que ofertam o curso na região:** Modalidade semi-presencial: IDEAU, Faculdade Anhanguera. Presencial: UPF, UNOCHAPECÓ, UFSM**.** À distância: UNOPAR.<br>**Posicionamentos competitivos encontrados na concorrência:** Preço. |
| **Poder de Negociação dos Clientes** | **Caso os discentes apresentem dificuldades financeiras comprovadas, há bolsas e descontos de fácil acesso?** FIES, PROUNI, CREDIURI e financiamento com o banco Sicredi.<br>**Se o discente não se importar com a qualidade de ensino, escolherá o curso pelo menor preço.** O preço de mensalidade do curso da URI não é competitivo. |
| **Poder de Negociação dos Fornecedores** | **Se a IES está inserida em um mercado com pouca oferta de docentes, o poder dos docentes é maior.** Há oferta de docentes no curso.<br>**O grau acadêmico que o docente tem, indica se ele usufrui de maior ou menor poder.** A maioria apresenta grau acadêmico de mestrado e doutorado. |
| **Ameaça de Entrada de Novos Concorrentes** | **Existem outras universidades/faculdades que podem/querem ofertar o curso?** Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) e Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS).<br>**As universidades públicas que existem na região já ofertam o curso?** Não. |
| **Ameaça de Produtos Substitutos** | **Qual outro curso que pode substituir a Engenharia de Produção?** Nenhum.<br>**Um bom emprego pode substituir a graduação e fazer o acadêmico desistir de cursar?** Os acadêmicos que estão saindo ou trancando o curso estão investindo em outra carreira ou em seu próprio negócio. |

Após a etapa Análise da Situação, inicia-se a etapa Missão e Valores e a etapa Visão. Referente aos questionamentos realizados à coordenação do curso, foram elaborados os três fatores fundamentais direcionadores para todas decisões que serão feitas no curso de Engenharia de Produção e que estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Missão, Valores e Visão do PGENG – Engenharia de Produção URI Erechim

| | |
|---|---|
| **Missão** | Garantir ensino de qualidade com o objetivo de desenvolver profissionais íntegros e capacitados, unindo o gerenciamento de pessoas, materiais, equipamentos e processos a fim de otimizar o uso de recursos produtivos e diminuir custos de produção de bens e serviços. |
| **Valores** | Rigor; Competência; Ética; Respeito; Excelência; Foco no aluno. |
| **Visão** | Ser o curso referência na educação superior do norte do Rio Grande do Sul, no que diz respeito à qualidade de ensino e na formação de profissionais críticos, conscientes e visionários. |

Na etapa Metas e Objetivos, Estratégias, Atividades e Projetos, Monitorar, Desempenho, Avaliação e Medição foi desenvolvido um Plano de Ação para suprir todas essas etapas. Cada linha do Plano de Ação é referente à uma ação a ser tomada para o atingimento do Objetivo Estratégico e, para cada ação será rodado o PDCA. Na fase *Plan*, o 5W, na fase *Do*, 2H, na fase *Check*, o KPI e, terminando o ciclo, na fase *Assessment*, será analisado se a ação proposta foi eficaz e concluída e assim encerrar o ciclo, ou, caso não for eficaz, refazê-la para o próximo ano. Caso a ação seja contínua, repete-se a mesma para o próximo ano. Dessa forma, encerra-se o Processo de Gestão Estratégica da URI Câmpus Erechim, contendo todas etapas descritas na Tabela 5.

Tabela 5 – Plano de Ação do PGENG – Engenharia de Produção URI Erech

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Plan*** | **Objetivo Estratégico** | | Aumentar a quantidade global de alunos do curso. | | | | | | | | | |
| | IA - MEC | | PDI da instituição | | **5W2H** | | | | | | | **KPI** |
| | Dimensão | Indicador | Eixo | Meta | *What* | *Why* | *Where* | *When* | *Who* | | *How* | *How Much* | ***Check*** |
| | Organização Didático-Pedagógica | 1.1 | Ensino e Extensão | 3.5. Criação de Programas de Extensão | Elaborar programa de auxílio ao ENADE | Obter melhor resultado no exame. | Auditório do Campus II | 1º Semestre do Ano referente à aplicação do ENADE.<br>Encontros mensais com alunos. | CPA;<br>Coordena-ção do Curso;<br>Corpo docente; | ***Do*** | Revisão de conteúdos e boas práticas para resolução de questões. | - | Número de atividades organizados pelo curso e Setor de Apoio / Comissões de apoio a coordenação;<br>Os alunos recebem orientação quanto ao processo do ENADE;<br>Os temas tratados durante o programa atendem a questões gerais e específicas da prova;<br>Número de alunos que participam do programa em relação ao número de alunos inscritos para prova. |
| | Corpo Docente Tutorial | 2.5<br>2.7<br>2.9 | Ensino, Pesquisa e Extensão | 1.3. Qualifica-ção de pessoal e desenvol-vimento humano | Capacitar docentes para o uso de metodologi-as ativas de ensino-aprendizage m | Incentivar que a comunidade acadêmica desenvolva a capacidade de absorção de conteúdos de maneira autônoma e participativa | Auditório Campus II | Semestralmen te | Coordena-ção do Curso | | Seminários | - | Número de seminários realizados;<br>Número de docentes presentes durante os seminários em relação ao número total de docentes do curso;<br>O relatório de metodologias ativas para ensino-aprendizagem abrange todas as áreas de conhecimento previstas no PPC do curso. |
| | Infraestrutura | 3.6<br>3.7 | Ensino e Pesquisa | 5.5. Moderniz a-ção e ampliação do acervo bibliográfi -co | Revisar os títulos bibliográfi-cos atrelados a grade curricular do curso | Atualizar bibliografia conforme PPC do curso. | Acervo bibliográfi -co do curso | Anualmente | NDE e Coordena-ção do Curso. | | Realizar revisão do acervo | - | Número de exemplares em relação ao número total de vagas do curso;<br>A bibliografia prevista no PPC é revisada anualmente;<br>A tomada de decisão quanto a bibliografia PPC passa por avaliação e aprovação do NDE. |
| | ***Assesment*** | | Avaliar os resultados planejados e replanejar. | | | | | | | | | | |

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade do estudo foi levantar as melhores ferramentas, métodos, conceitos de gestão estratégica compreendendo o processo de planejamento de formulação das IES. Buscou-se analisar a importância de implementar um processo de gestão estratégica e da utilização de ferramentas que podem impulsionar o crescimento e a competitividade das organizações, por meio da proposta um PGENG onde todos cursos de qualquer universidade poderão executar, e, por fim aplicando o modelo proposto ao curso de Engenharia de Produção da URI Câmpus Erechim.

O PGENG é um processo no qual demanda engajamento e persistência dos responsáveis e norteia as atividades educacionais do curso. É necessário que ele seja consultado regularmente, para acompanhar as ações e atualizar as informações necessárias sobre a situação atual e que haja um acompanhamento frequente de seu conteúdo, se ele está sendo seguido e se suas orientações e disposições ainda tem coerência. É preciso ter em vista que imprevistos podem acontecer e que as situações em que o PGENG foi concebido podem mudar, impactando em seu andamento e suas previsões. Machado (2008) ressalta a importância sobre todos envolvidos com a IES estarem presentes participando do processo de execução e mantendo um acompanhamento durante a aplicação.

## 6 REFERÊNCIAS


ALVES, João Firmino Soares Abreu. **A importância do planejamento estratégico nas universidades públicas brasileiras**. Colóquio Luso-Brasileiro de Educação: Braga e Paredes de Coura, 2018.

AMOLI, Sara Javan; AGHASHAHI, Farnouche. An Investigation on Strategic Management Success Factors in an Educational Complex. **Social and Behavioral Science**, Elsevier Ltda, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042816311570>. Acesso em: 16 de Outubro de 2018.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Design Science Reserach:** método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

KAHVECI, Tuba Canvar et al. Evaluation of public strategic planning models for Turkish Universities. **Social and Behavioral Sciences,** Elsevier, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812044497>. Acesso em: 27 de Outubro de 2018.

KAIRUZ, Therése et al. Consequences of KPIs and performance management in higher education. **International Journal of Educational Management**, Emerald Insight, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJEM-05-2015-0067>. Acesso em: 22 de Outubro de 2018.

MACHADO, Luís Eduardo. **Gestão Estratégica para instituições de ensino superior privadas**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

MADURO, Soraia; FERNANDES, Paula O.; ALVES, Albano. Management design as a strategic lever to add value to corporate reputation competitiveness in higher education institutions. **International Business Journal**, Emerald Insight, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/CR-04-2017-0029>. Acesso em: 22 de Outubro de 2018.

MOURA, Henrique Martim; CORECHA, Bruna. O uso de ferramentas de qualidade em uma instituição pública de ensino. **Revista Gestão Universitária**, v. 9, ed. 2018. Disponível em: <http://gestaouniversitaria.com.br/artigos-cientificos/o-uso-de-ferramentas-de-qualidade-em-uma-instituicao-publica-de-ensino>. Acesso em: 6 de Novembro de 2018.

PARAKHINA, Valentina; GODINA, Olga; BORIS, Olga; USHVITSKY, Lev. Strategic management in universities as a factor of their global competitiveness. **International Journal of Educational Management**, Emerald Insight, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJEM-03-2016-0053>. Acesso em: 22 de Outubro de 2018.

PORTER, Michel. **Estratégia competitiva:** técnicas para análise de indústrias e concorrência. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

ROCHA, Carlos Henrique; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo. **Gestão de instituições privadas de ensino superior.** São Paulo: Atlas, 2003.

SARAMAGO, Magnus Murta. **Processo Estratégico em Instituições de Ensino Superior Privadas da Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

THAMRIN, Husni; PAMUNKAS, Endang Wahyu. A Rule Based SWOT Analysis Application: A Case Study for Indonesian Higher Education Institution. **Computer Science**, Elsevier, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091732104X>. Acesso em: 16 de Outubro de 2018.


## 5. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Produção:
# Gestão de Sistemas de Produção e Operações

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROPOSTA DE MELHORIA NA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE BALANÇAS PARA GADO EM UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA DO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL POR MEIO DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR E PROJETO *KAIZEN*

**Carlos Alexandre Preczevski**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Campus de Erechim
carlosalexpre@hotmail.com

***Resumo.*** *Muitas são as formas de se tornar uma empresa produtora de bens competitiva no mercado, seja com prazos de entrega mais curtos, custos menores, qualidade maior entre outros fatores. Para se atingir um grau de excelência nesses quesitos, muitos esforços de longo prazo devem ser tomados, por isso, quem antes iniciar, mais cedo obterá êxito. Diante disto, observam-se situações na prática que demonstra que atingir um elevado grau de competitividade é uma tarefa demasiadamente complexa e que não pode ser conduzida assistematicamente. Com isso em mente, estudiosos desenvolveram a ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor, que é um método de enxergar as perdas no fluxo de produção de porta a porta, para então desenvolver um estado futuro melhorado, executando-se repetitivamente até atingir perdas insignificantes. Para auxiliar, o Projeto Kaizen permite a aplicação segura, metódica e alimentando novas execuções. A execução deste trabalho explorou a utilização destas ferramenta, proporcionando ganhos esperados de até 57% no lead time, com aplicação prevista para menos de 3 meses.*

***Palavras-chave:*** *Mapeamento, Fluxo, Valor, Kaizen, Lean.*

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente disputa das empresas por uma maior parcela de mercado induz estas a buscarem novas estratégias para que seus métodos e práticas não fiquem defasados em relação aos de seus competidores. Para competir nesses mercados, as empresas fazem uso de estratégias sistemáticas ou implícitas, que irão refletir o modo como esta irá buscar a sobresalência em relação às forças que a impedirão de crescer. (SALDANHA *et al*., 2017)

Uma das formas de se competir é reduzindo-se os custos de produção, onde uma das formas de se executar esta prática é por meio da redução de perdas. A redução de perdas no processo é fundamentada na redução de custos, e o *Lean Manufacturing* na absoluta eliminação de perdas. Perante a isso, Ohno (1997) relata que estes devem ser tratados como grandes objetivos por fabricantes devido o alto grau de produtos substitutos presentes no mercado.

É inegável que os custos de produção têm impacto direto na estratégia que a empresa irá adotar para competir em seu mercado, bem como na perpetuidade da empresa neste. Para que isto aconteça, a empresa deve ter como premissa a melhoria do todo em relação às suas atividades fim, baseado em um fluxo equilibrado e enxuto na produção de seus bens ou na prestação de seus serviços. Neste contexto, o Mapa do Fluxo de Valor é o primeiro passo a ser dado por uma empresa que deseja ou necessita de um fluxo de produção enxuto. (ROTHER; SHOOK, 2003)

O Projeto *Kaizen* é a ferramenta utilizada para sistematizar as melhorias realizadas e não permitir que estas se restrinjam a pequenos eventos ou resultados inertes, buscando a melhoria contínua dos processos e tratando estas de forma com que os ganhos sejam comprovados. (SCHIMIGUEL *et al.*, 2014)

O uso combinado das duas ferramentas busca, em primeiro lugar, o entendimento das etapas dos processos e os eventos que ocorrem durante estas etapas. O conhecimento obtido a partir das observações irá permitir a visualização dos fatores que causam maior impacto negativo na produção, e dessa forma, priorizar as ações que devem ser tomadas com relação à eliminação das perdas.

Atualmente, o cenário econômico brasileiro apresenta sintomas de recuperação da recessão deflagrada entre os períodos correspondentes ao segundo trimestre de 2014 e ao primeiro trimestre de 2018. Dentro deste período, o setor secundário, ou seja, o industrial, apresentou os piores números dentre os três, apresentando uma queda de 10,8% do PIB nacional. (POCHMANN, 2018)

Analisando-se o desempenho das indústrias metalomecânicas nos anos de 2016 e 2017, pôde-se perceber que estas apresentaram avanços de 69,44% no crescimento produtivo, sendo que 44,44% destas indústrias apresentaram desempenho superior a 5% de crescimento. A fabricação de máquinas para agropecuária apresentou um crescimento de 4,42%. (BAHIA, 2018.)

## 2. METODOLOGIA

A coleta dos dados se fez com o monitoramento do processo e imediato registro da atividade executada e do tempo consumido para tal, tendo-se como instrumento de medição aparelhos com função cronômetro, e para análise, planilhas eletrônicas. A observação ocorreu entre os dias 10 e 26 de outubro de 2018, resultando em um total de aproximadamente 30 horas de observação.

O registro portou alguns dados como padrões, como a denominação do processo, datas e horários de início e término. Em virtude de cada etapa do processo apresentar suas próprias particularidades, não se optou por uma folha de verificação padronizada, pois pôde-se observar características dos processos durante a fabricação.

Posteriormente, os dados foram analisados e então divididos em áreas em comum a todos os processos, para que as observações fossem mais enxutas e que o foco se direcione para o fluxo em si e não para os pequenos eventos que compõem a grande variedade de fatos presentes na fabricação dos produtos, podendo se dividir as classes dos tempos entre Tempo de Setup, Tempo de Ciclo, Tempo de Não Agregação de Valor, e Tempo de Processamento Total. A coleta de dados foi realizada pelo próprio pesquisador, presente nas etapas de fabricação do item do início até o final.

No Quadro 1, pode-se verificar os resultados desta coleta, representados de forma sintética.

| | T/C | T/S | TNAV |
|---|---|---|---|
| Corte Laser 6,35mm | 39" | 10'40" | 4'52" |
| Corte Laser 1,90mm | 55" | 8'30" | 2'44" |
| Usinagem | 11" | 22'05" | 1'20" |
| Usinagem | 34" | 40'07" | 48" |
| Escarear | 28" | 29'56" | 7'35" |
| Retificar | 3'56" | 28'07" | 4'20" |
| Lixar | 56" | 6" | 29" |
| Escarear | 4" | 1'14" | 1'40" |
| Dobrar CNC | 33" | 7'43" | 8'27" |
| Soldar | 4'59" | 39'33" | 3d7h43m* |
| Repassar Furo | 22" | 24'30" | 25'18" |
| Roscar | 53" | 1'52" | 3'02" |
| Pintar | 59'56" | 5'36" | 23'34" |
| Repassar Rosca | 24" | 1'16" | 4'22" |
| Embalar | 1'11" | - | 7'26" |

Quadro 1: Quadro resumo da mensuração efetiva dos tempos

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

O mapa de fluxo de valor é uma ferramenta qualitativa que ajuda a enxergar não somente os processos existentes, mas principalmente o fluxo de material de porta-a-porta, e de informação ao longo da cadeia, podendo ser até mesmo ampliado para além de uma planta. É capaz de guiar as ações de melhoria, evitando que estas sejam realizadas pontualmente e sem gerar resultados consistentes. (ROTHER; SHOOK, 2003)

Cardoso *et al.* (2018) defendem que o Mapa do Fluxo de Valor é uma ferramenta necessária para que os gestores desfrutem da visualização de desperdícios que acontecem no chão de fábrica e que a criação do Mapa de Estado Atual é o ponto de partida para a criação de melhorias de processo.

Bonatto (2013) firma que a execução do mapeamento do fluxo de valor é executada por meio da escolha de uma família de produtos, escolhida conforme critérios pré-definidos. Depois disso, é realizado o desenho do mapa de estado atual, informando dados relevantes. Parte-se então para o desenho do mapa de estado futuro para vislumbrar o fluxo desejado de produtos. A finalização do procedimento se dá com a elaboração de um plano para execução das atividades necessárias para atingir o fluxo desejado.

Uma afirmação importante de Rother e Shook (2003) denota uma sequência de passos para se observar em uma realização de mapeamento de fluxo de valor futuro, os quais são:

1° Produzir de acordo com o *takt time*: conceito este que é a razão entre o tempo disponível pela quantidade de produtos demandada. A viabilidade deste conceito é validada em determinados casos, como produção constante com tempos de produção razoáveis;

2° Gerar um fluxo contínuo onde possível: eliminar o estoque intermediário em determinado ponto;

3° Utilizar supermercado onde o fluxo contínuo é impossível: diminuir a quantidade de estoques por meio de um supermercado, que é abastecido conforme necessidade, frequentemente utiliza-se o *kanban*;

4° Evitar a programação do cliente para apenas um processo: a melhor configuração se dá na utilização de um processo puxador, que regula a produção conforme a demanda;

5° Nivelamento do mix de produtos: produzir moderadamente cada produto, mantendo o controle dos estoques;

6° Nivelar o volume de produção a passos lentos: desviar-se da resistência e dos erros causados pela ambição;

7° Fracionamento de estoques: habilidade de produzir "toda peça todo dia".

### 3.2 Projeto *Kaizen*

*Kaizen*, do japonês melhoria contínua, está vinculado ao *Lean Manufacturing* e é uma forma de manter a empresa em constante esforço para que esta esteja em constante renovação, o que garantirá sua perpetuidade no mercado. No entanto, a manutenção desta ferramenta requer esforços adicionais, pois tanto o chão de fábrica quanto a alta gerência devem estar engajados para que a ferramenta continue a ser executada e não fique restrita às melhorias iniciais. Portanto, devem ser criados programas de mantimento e recuperação no caso de indicadores decrescentes, como também métodos de controle de execução de melhorias. (CARDOSO *et al.*; 2017)

Os Projetos *Kaizen* normalmente seguem um determinado roteiro, que se inicia com a definição do escopo do projeto, para então definir uma meta, contendo os objetivos, valores e prazos. Deve-se haver a participação de outras pessoas, de modo que a seleção destas seja heterogênea (pessoas de diferentes departamentos). Deve-se então reunir os integrantes e as ideias conforme o princípio dos 3 G's: *Gemba*, ir ao local da ocorrência, *Gembutsu*, observar o equipamento, *Genjitsu*, observar o fenômeno. Isto propiciará o levantamento das melhorias. Outras ferramentas, como gráficos de espaguete, simulações ou mapas de fluxo de valor podem auxiliar o projeto. O fluxo geral das atividades de um projeto *Kaizen* é similar a um ciclo PDCA. (SYRIO; ALVES, 2011)

Alguns princípios devem ser levados em conta com esta aplicação, sendo o primeiro deles a valorização do ser humano, integrando cada vez mais a participação do funcionário no processo decisório; equilíbrio processo/resultado, que se trata do método que será utilizado para se atingir os objetivos, como por exemplo, levar em consideração a capacidade do funcionário; observar os sistemas globais, visualizando o impacto que uma mudança tem em seus processos adjacentes. (MACHADO, 2008; FERREIRA, 2017)

### 3.3 *Kanban*

É uma palavra derivada do japonês, significando "cartão". É uma forma visual de controle de estoques representada por cores, onde cada cor sinaliza uma ação a ser tomada. Define-se pela utilização de cartões ou contentores que sinalizam a quantidade de estoques vigente. (AGUIAR; PEINADO, 2007)

Segundo Souza *et al.* (2017) o principal objetivo de um *Kanban* é suavizar o fluxo de produção simplificando o controle de estoques, determinando os níveis de urgência da produção.

### 3.4 5S

O 5S é uma ferramenta que visa o melhor aproveitamento do espaço de trabalho, prezando pelo conforto, segurança, higiene e bem-estar no ambiente de trabalho. Na forma com que atua em um processo produtivo, o 5S é capaz de trazer uma melhoria da qualidade de vida dos funcionários em conjunto de melhores resultados na qualidade dos produtos e melhor produtividade. (ANANIAS *et al.*, 2019)

A definição de baseia na definição dos conceitos dos sensos *Seiri* (Utilização), o qual diz respeito à frequência de utilização de determinados objetos no ambiente de trabalho, *Seiton* (Ordenação) onde os objetos devem respeitar ao padrão de locação destes, *Seiso* (Limpeza) que se refere à remoção de impurezas do ambiente de trabalho que venham prejudicar o funcionário ou o funcionamento das máquinas, *Seiketsu* (Higiene e Saúde) o qual se trata da manutenção de bons hábitos de cuidado com a saúde nos mais diversos aspectos e *Shitsuke* (Autodisciplina) que remete à continuidade e absorção dos conceitos dos demais sensos, para que estes perdurem na cultura da empresa. (MARTINS, 2018)

A aplicação de conceitos de 5S deve respeitar as etapas de Planejamento, contemplando as atividades a serem executadas, os responsáveis e prazos; Registros, onde deve-se compilar os dados relevantes ao projeto, sejam imagens ou dados quantitativos; Execução, sendo nada mais do que a colocação em prática de todas as ações predefinidas; Auditoria, envolvendo o acompanhamento do andamento dos departamentos conforme o esperado após as mudanças efetivadas. (COSTA; SOUZA, 2017)

### 3.5 Gestão Visual

A Gestão Visual ou Gestão à Vista trata-se de uma maneira simplificada de se obter controle sobre algo, deixando as informações necessárias expostas não havendo esforços significativos para interpretá-las, proporcionando assim rápida compreensão e ação (SANTOS; SILVA; SOUZA, 2017).

Dentre os principais objetivos observados, podem-se destacar a autonomia dos funcionários, a praticidade no acesso às informações, a abrangência da expansão das informações, às oportunidades de enxergar problemas e a novas possibilidades de gerar melhoria contínua. (LOOS; SILVA, 2016)

O método de fornecimento de informações proposto pela ferramenta de Gestão Visual visa disponibilizar as informações da forma mais simples e direta possível. Alguns possíveis exemplos para se citar em relação a esta é a utilização de códigos em cores, linhas, placas de informação, etiquetas e outros materiais afins. (SIMAS, 2016)

### 3.6 5W2H

Antonov *et al.* (2017) definem o 5W2H como uma ferramenta que é capaz de auxiliar na execução e acompanhamento de ações baseando-se nas seguintes perguntas *What*? (O quê?), onde deve-se informar o que se pretende fazer, *Why*? (Por quê?), indica-se os motivos para a realização da tarefa, *Who*? (Quem?), determina-se então a pessoa responsável pela ação, *Where*? (Onde?), informando-se onde será executada a ação, *When*? (Quando?), determina-se o prazo para execução, indicando um possível início e término, *How*? (Como?), descreve-se então a forma com a qual a ação será efetivada, e *How Much*? (Quanto?) informando prováveis custos financeiros. (ARAÚJO, 2017)

Martins (2018) compila as informações sobre a ferramenta citando que o principal objetivo da mesma está em proporcionar a gestão prática e evitar redundâncias, resultando em um controle eficiente das ações.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a montagem do estado atual utilizou-se o menor tempo medido para cada processo, para denotar a capacidade de o processo produzir da melhor forma possível.

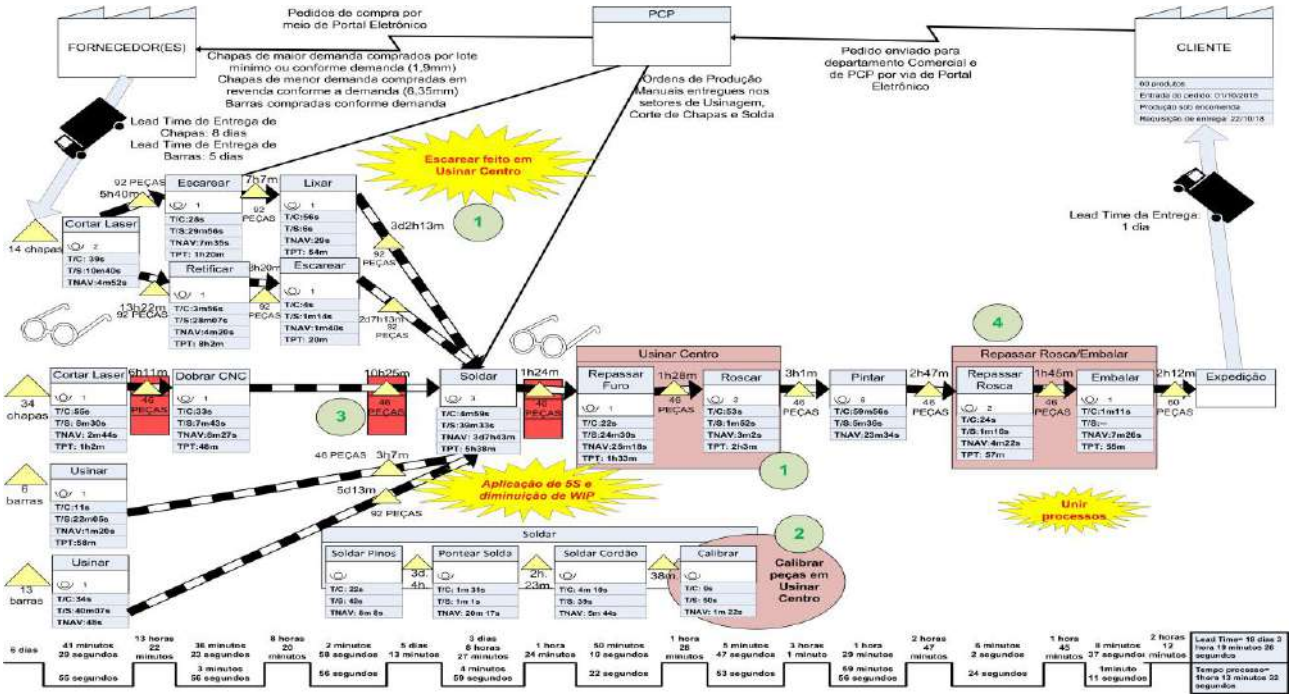



Figura 1: Mapa de Estado Atual

O mapa apresentado fornece as informações necessárias para se observar a prevalência de estoques entre processos, os quais representam a maior parte do total do *lead time*, o qual foi calculado em pouco mais de 19 dias para um tempo de processamento total de mais de uma hora.

Listando-se as ocorrências das perdas, pode-se observar:

- Superprodução: Na produção do lote monitorado, haviam 14 produtos acabados em estoque, resultado da produção em excesso realizada em outros pedidos, totalizando 23% do total do lote demandado;
- Espera: Uma peça conclui seu processamento em determinado setor e deve permanecer ali aguardando todas as demais peças serem processadas para então ser deslocada até o próximo setor;
- Transporte: Ocorreu entre todos os setores, pois o arranjo funcional utilizado como modelo de *layout* da fábrica impossibilita a fluência de produtos entre os setores;
- Superprocessamento: A etapa de lixar peças executa o processamento sobre todas as peças

indiscriminadamente, não importando se há ou não efetivamente rebarbas, além disso, algumas superfícies lixadas não ficam expostas após a soldagem;

- Estoque em excesso: Pelo fato de as peças serem processadas setorialmente e em conjunto com outros produtos, a ocorrência de estoque entre processos é um fenômeno bastante comum, pois as peças são processadas uma a uma, aguardam as outras e ficam paradas esperando o processo em todos os setores;
- Movimentação: O *layout* setorial impossibilita que o fluxo das peças seja realizado de forma que os funcionários não se retirem de suas zonas de trabalho, os obrigando a movimentar as peças entre as etapas;
- Defeitos: O uso de uma determinada broca de tamanho maior que o recomendado, no processo de repassar furos, gerou uma ocorrência no processo de roscar, onde o parafuso apresentou uma folga levemente maior que a desejável.

Os números e símbolos apresentados em coloração destacada remetem a algumas ações de curto prazo que pode ser tomadas, sendo:

1 – Tornar os processos de Escarear, Repassar Furo e Roscar como um único processo no Centro de Usinagem, ou Usinar Centro. Esta mudança é uma iniciativa tomada pela própria empresa, mas que impacta em diversos aspectos do produto e do fluxo;

2 – Incorporar o processo de Calibrar como integrante de Usinar Centro, por ser um processo simples e rápido, e para não ocupar mais o profissional da solda para executar tal tarefa, além de poder ser executado enquanto a máquina está em operação, o que pode minimizar o efeito que um aumento do custo gera na produção;

3 – Utilizar estoques pulmão entre os processos, de modo que a produção seja realizada com foco maior na agregação de valor sobre o material. Regular o fluxo por meio de um supermercado instalado na Solda, que irá informar o momento de se produzir as peças;

4 – Unir os processos de Repassar Rosca e Embalar no mesmo departamento, reduzindo movimentos desnecessários e promovendo um fluxo contínuo entre as peças dentro do departamento.

Desta forma, pode-se estabelecer o Mapa de Estado Futuro.

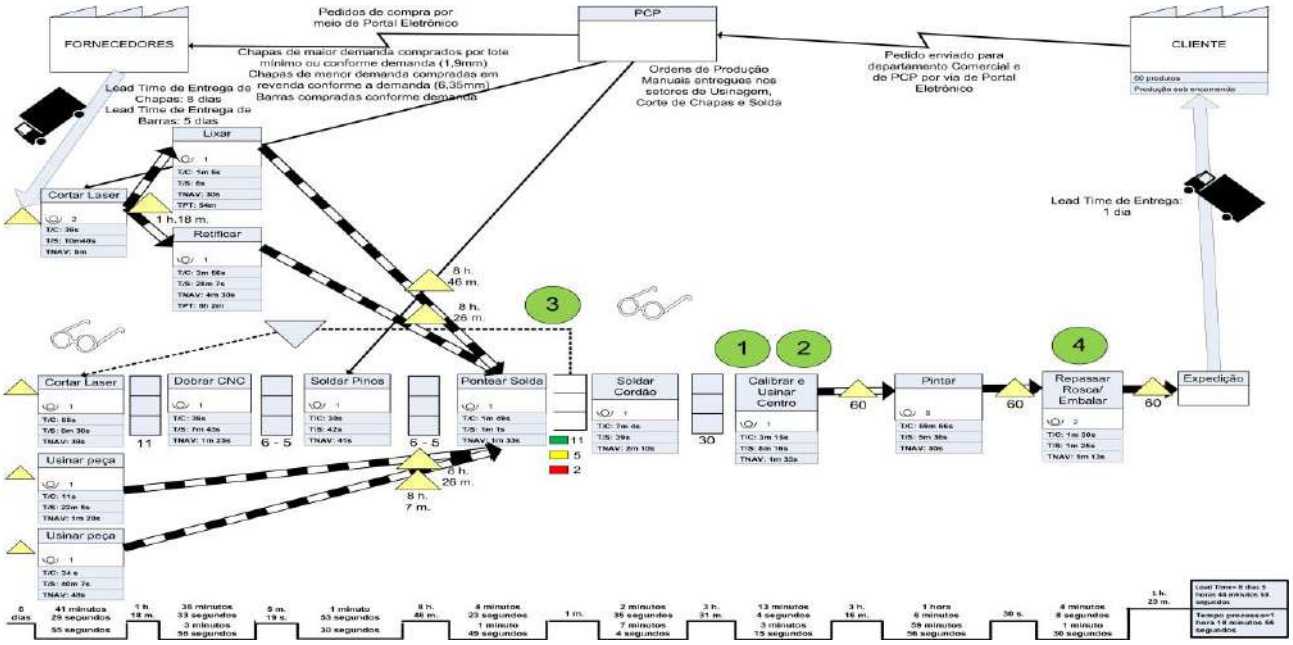



Figura 2: Mapa de Estado Futuro

No Mapa de Estado Futuro se propõe a diminuição do intervalo de produção das peças usinadas como também do corte de chapas grossas, sendo assim feito por motivos de alta complexidade quanto a movimentações no *setup* das máquinas. Na proposta, também se destaca o fato de haver o *Kanban* de sinalização regulando o processo por meio do Soldar Cordão como sendo o processo puxador, que envia o sinal por meio de um cartão para que as peças sejam cortadas na quantidade de 11 peças por ordem. Depois disso, as peças são processadas em bateladas de 6 e 5 peças até chegarem em Pontear Solda, que abastecerá continuamente o processo seguinte. Para o processo de Calibrar e Usinar Centro necessita-se de 30 peças já produzidas para que se possa manusear os produtos em uma temperatura adequada. Devido a restrições do processo de pintura, como a produção em determinados dias e o setup da máquina, todas as peças serão pintadas simultaneamente, para então serem entregues ao processo seguinte, que tratará do repasse das roscas e embalagem das peças até a expedição.

Abreviando o plano de ação proposto, as ações necessárias para a execução do estado future se dão pelo fornecimento de treinamento, a criação dos itens necessários para execução da gestão visual e do 5S, focalizando-se no senso de ordenação, o qual impactará diretamente no *lead time*, a aquisição de ferramentas e orientação das tarefas para correta execução do repasse de roscas.

## 5. CONCLUSÃO

É apropriado mencionar a comprovação dos resultados que as ações acima citadas podem trazer para o caso em questão, totalizando até 57% na diminuição das perdas apresentadas no processo, reduzindo-se o *lead time* para pouco mais de 8 dias. Porém, é fundamental dar a ênfase necessária para que as melhorias no processo apresentem continuidade nos esforços. Um esquema apropriado para a execução destas tarefas se dá pela Figura 3.

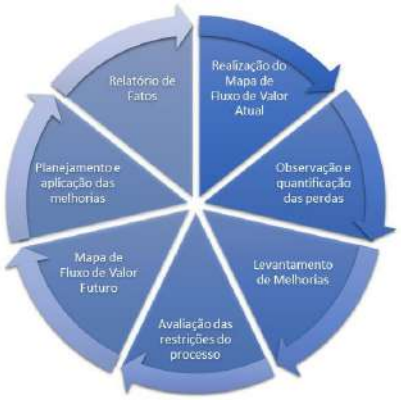



Figura 3: Ciclo Progressivo de Atividades

## 6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, G. F.; PEINADO, J. Compreendendo o *Kanban*: Um ensino interativo ilustrado. ***da Vinci***. v.4. n.1. p. 133-146. Curitiba/PR. 2007.
ANANIAS, L. F. N.; GROSSI, M. O.; MAGALHÃES, C. S.; FALAVINA, A. B. O.; PEIXOTO, M. G. M. Gestão da Qualidade no Setor Madeireiro: Proposta da Implantação da Ferramenta 5S. **Revista FSA**. v.16. n.2. p. 166-182. Mar./Abr. 2019.
ANTONOV, M.; OLIVEIRA, E.; BENVEGNU, M. A.; SOUZA, W. T.; RIBEIRO, R. B.; Utilização da Metodologia 5W2H na elaboração de planos de ação no grupo Pet-Engenharias. **Anais do 9° SIEPE**. v.9. n.3. 2017.
ARAÚJO, A. L. S. Gestão da Qualidade: Implantação das ferramentas 5S e 5W2H como plano de ação no setor de oficina em uma empresa de automóveis na cidade de João Pessoa-PB. **UFPB**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção Mecânica. João Pessoa/PB. 2017.
BAHIA, L. D. Nota Técnica: Evolução Produtiva da Indústria em 2017. **IPEA**. Abril de 2018.
BONATTO, F. **Aplicação do Mapa de Fluxo de Valor em uma indústria moveleira**. Graduação em Engenharia de Produção. UTFPR. 2013.
CARDOSO, W.; BERTOSSE, J. F.; BASSI, E.; SAES, R. M.; JUNIOR, F. F. Mapeamento do Fluxo de Valor como Ferramenta de Diagnóstico de Desperdícios e Propostas de Melhorias: Um Estudo de Caso numa Indústria Moveleira. **Revista UNIABÉU**. v.11. n.18. Mai./Ago. 2018.
CARDOSO, J. S.; LUZ, C. G.; SILVA, A. L. E.; SILVA, P. P.; MORAES, J. A. R. Otimização de um Programa Kaizen em uma empresa do setor metal mecânico. **Tecno-Lógica**. Santa Cruz do Sul – RS, v.21. n.1. p. 09-15. Jan./Jun.2017.
COSTA, B. W. C.; SOUZA, F. A.; Análise do Programa 5S e das Aplicações da Ferramenta da Qualidade por Alunos de Engenharia de Produção. **Anais do IX SIMPROD**. São Cristóvão/SE. 2017.
FERREIRA, M. M. F. V. Plano de Otimização de Processos com Recurso a Metodologias *Kaizen*: Aplicado a uma empresa de gestão de serviços financeiros. **FEP**. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Serviços. Porto/Portugal. 2017.
MACHADO, J. A. J. R. "**Total Flow Management na Indústria" Kaizen Institute**. FEUP. Dissertação para título de Mestrando Integrado em Engenharia Mecânica. Porto/Portugal. 2008.
MARTINS, E. S.; Aplicação dos Conceitos de 5S em uma Indústria Siderúrgica de Grande Porte. **UFOP**. Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção. Fevereiro, 2018.
OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção**: Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.
POCHMANN, M. Desempenho Econômico e Conjuntural e a Situação Recente do Trabalho no Brasil. **NECAT**. n.13. v.7. Jan./Jun. 2018.
ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar**. São Paulo: Lean Institute Brasil. 2003.
SALDANHA, W. M. B.; BARBOSA E. R.; OLIVEIRA, C. S.; SILVEIRA, F. C. N.; Estratégia Competitiva: Desafios e Oportunidades de um Administrador. **EEDIC**. v.4. n.1. Quixadá/Ce. 2017.
SCHIMIGUEL, J.; OLIVEIRA, C. R.; SOUZA; L. L.; MARÇAL; A. L. Estudo e aplicação do Kaizen no processo de redução de quebras: um estudo de caso. **REVERTE**. v.1. n.12. 2014.
SIMAS, A. F. L. Gestão Visual em Sistemas *Lean*: Metodologia de Uniformização. **FCL**. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Lisboa. 2016.
SOUZA, W. S.; SANTOS, L. O.; CARDOSO, J. P.; SANTOS, T. O.; SILVA, J. F.; Aplicação do Pensamento Enxuto para Auxílio da Boa Gestão de Atividades Pessoais: uma adaptação do modelo *Kanban*. **IX SIMPROD**. São Cristóvão/SE. 2017
SYRIO, F. R.; ALVES, J. M. Expansão dos Projetos Kaizen para os Fornecedores: Estudo de Caso na Indústria Aeronáutica. In: VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende/RJ. 2011.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA FÁBRICA DE RAÇÕES

**Felipe Mazutti**
**Wu Xiao Bing**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
115143@upf.br; wu@upf.br; mwalber@upf.br

**Resumo:** *O presente trabalho teve por objetivo, implementar ferramentas de planejamento e controle da produção, desenvolvendo o sequenciamento de produção em uma fábrica de rações para aves localizada na cidade de Tapejara – RS, visto que a empresa não possuía este método implantado, acarretando em perda de produtividade e, com isso, aumentando as despesas. Este estudo foi realizado relacionando os tipos de ração produzidas, tempos de fabricação e desenvolvendo uma previsão de demanda semanal buscando equilibrar a produção diária, evitando trabalho em horário de pico e atendendo a necessidade. Este estudo também foi utilizado para organizar a produção e possibilitar melhor interação entre os principais setores envolvidos neste processo. Foram levantados dados em campo e informações através de pesquisas bibliográficas, validando o conteúdo desenvolvido no decorrer do trabalho.*

***Palavras chave:*** *Produção; Planejamento; Controle; Sequenciamento; Previsão de demanda.*

## 1. INTRODUÇÃO

No primeiro semestre de 2017, 16,5 milhões de toneladas de rações foram necessárias para alimentação de frangos de corte, um retrocesso de 1,7% quando comparado ao ano de 2016, resultado de um declínio de aproximadamente 6% no alojamento de pintinhos. Em contrapartida, a produção de ração para poedeiras, por sua vez, somou 2,9 milhões de toneladas e um incremento de quase 10%, em resposta ao robusto de pintinhas de postura e produção dos ovos, que por ser considerado alimento nutritivo e de custo acessível, substituiu boa parte da proteína animal tradicionalmente consumida pelas famílias (SINDIRAÇÕES, 2017).

A produção é um processo que permite transformar matérias-primas em produtos acabados e prontos para serem comercializados. Para que isto possa ocorrer, é preciso definir o processo produtivo, determinando a capacidade de produção, previsão de demanda, plano mestre e sequenciamento de produção (LUSTOSA, 2008).

O planejamento e controle de produção (PCP) consiste em um método que trata do gerenciamento da produção, este envolve planejamento, programação e controle. O PCP é utilizado para aumentar a eficiência e eficácia do processo produtivo da empresa, atuando sobre o meio de produção com a garantia de que os objetivos sejam plenamente alcançados (LUSTOSA, 2008).

De maneira geral, o problema de dimensionamento e sequenciamento de produção de lotes (*lot sizing*) consiste em determinar o que e quanto produzir, ajustando a capacidade produtiva às variações de demanda. Para isso, dispõe de duas alternativas viáveis: aumento da capacidade (por exemplo, com a utilização de horas extras) e antecipação da produção nos períodos de folga (utilização de estoques). O problema de sequenciamento e de programação de lotes (*sequencing and scheduling*) consiste em determinar em que ordem produzir os lotes de forma a minimizar os tempos de preparação, que diminuem a capacidade produtiva (TOSO e MORABITO, 2005).

Com base nisto, a proposta foi realizar um estudo de caso em uma fábrica de rações localizada na cidade de Tapejara, região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, para implantação de rotinas de PCP, com foco na criação do sequenciamento de produção, visto que a mesma não possui este método implantado, acarretando em perda de produtividade e, com isso, aumentando as despesas, além de causar prejuízos futuros com a falta de ração no campo, por tratar-se de uma empresa que engloba toda a cadeia avícola.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentado as etapas e métodos utilizados para realização da implementação de ferramentas de PCP em uma fábrica de rações.

Para facilitar a compreensão e desenvolvimento deste trabalho, organizou-se o mesmo em três fases:

- Fase de pesquisa a campo;
- Fase de análise e identificação dos problemas;
- Fase de definição da sequência de trabalho.

### 2.1 Pesquisa a campo

O estudo foi realizado em uma agroindústria situada na cidade de Tapejara, região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. A mesma faz parte de um grupo de agroindústrias compostas por unidades de recebimento de grãos, fábrica de rações, frigoríficos, fábrica de farinhas e incubatório.

A fábrica de rações possui algumas particularidades que têm influência significativa na tomada de decisões do Planejamento e Controle de Produção, o que acontece com toda agroindústria.

Primeiramente, fez-se a imersão na indústria, com o objetivo de entender o cenário no qual a mesma está inserida. Isso foi possível pelo contato direto com funcionários e rotinas de trabalho, acompanhando a programação de ração e compreendendo que o foco principal da empresa é a cadeia avícola.

### 2.2 Análise e identificação dos problemas

Para identificar os problemas, desenvolveu-se o diagrama de causa e efeito, o mesmo está apresentado na Figura 1. Para desenvolvimento do mesmo seguiu-se a literatura de Hradesky (1989).

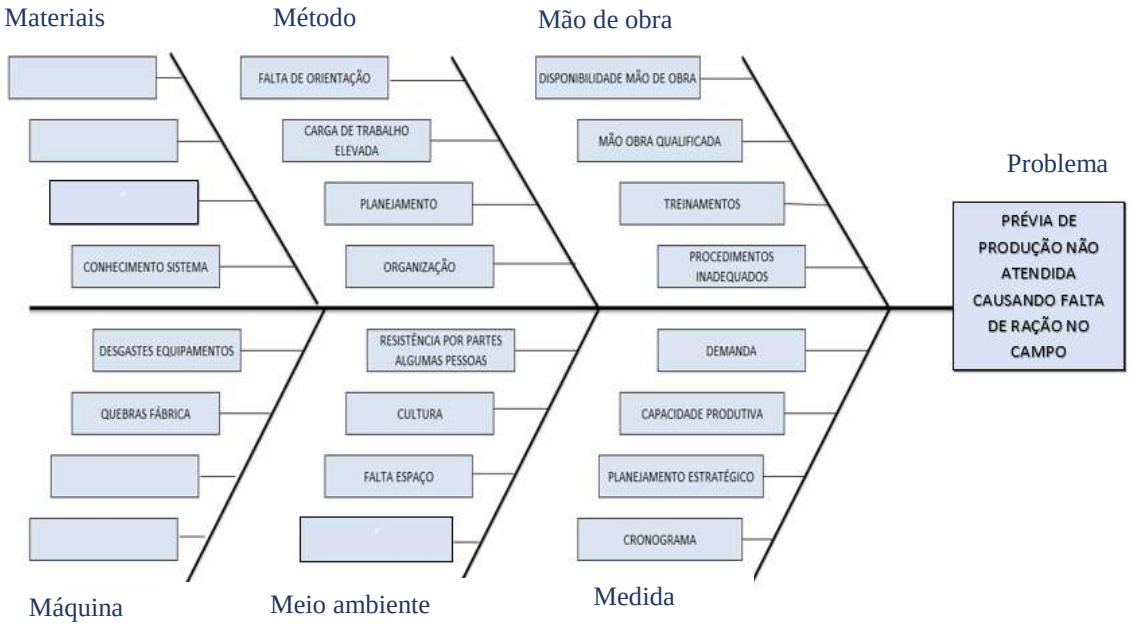



Figura 1. Diagrama de Ishikawa

Por meio do método 6M e elaboração do digrama de causa e efeito pode-se perceber que existe mais de um problema que pode ser resolvido com a implementação do sequenciamento de produção.

EFEITO: Prévia de produção não atendida causando falta de ração no campo.

CAUSA: Ausência de controle, capacidade produtiva não aproveitada, falta de planejamento e organização.

É possível observar vários pontos que poderiam ser melhorados com a implementação do PCP, dentre eles pode-se ressaltar, a previsão de demanda, uma vez que no método atual a prévia de produção é retirada diariamente após às 12:00 horas, quando se encerram as alterações por parte dos produtores, desta maneira, não se tem um horizonte médio de planejamento, ocasionando grandes variações na quantidade da prévia.

A falta de uma previsão de demanda adequada também pode ocasionar um desequilíbrio de quantidade muito grande nas linhas de produção, já que as rações possuem silos de armazenamento específico e, por consequência disso, também haverá desequilíbrio na expedição, este problema ainda pode ser o motivo de falta de ração no campo e custos adicionais de produção, sendo que, quando tem-se uma demanda maior em uma linha é necessário fazer horas extras e trabalhar em horário de pico para atender a prévia, tendo ainda desperdício de capacidade produtiva trabalhando apenas com uma linha enquanto a outra mantem-se ociosa.

Observa-se ainda que há falta de um plano de produção adequado. No Quadro 1 representa-se a prévia de ração para frangos de corte retirada do *software* e encaminhada para a produção antes da implementação do PCP.

| DATA: | QUINTA-FEIRA | 28/09/2017 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RAÇÃO: | INICIAL | INICIAL - B | CRESCIMENTO I | CRESCIMENTO I - B | CRESCIMENTO II | ACABAMENTO | TOTAL DO DIA |
| QUANTIDADE (Kg): | 6.400 | 156.400 | 42.000 | 94.400 | 242.400 | 379.400 | 921.300 |

Quadro 1. Prévia de produção

Apresenta-se ainda a prévia de rações para matrizes, a mesma é elaborada através de pedidos semanais feitos pelos responsáveis das granjas, conforme já descrito e, da mesma maneira, enviada para a produção em formato de previsão de demanda semanal, como pode-se observar na Tabela 1.

| PROGRAMAÇÃO FÁBRICA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **RAÇÕES** | **SEG** | **TER** | **QUA** | **QUI** | **SEX** | **TOTAL DA SEMANA (Kg)** |
| **MATRIZ GALOS** | 12.000 | 4.000 | 4.000 | 6.000 | 12.000 | **38.000** |
| **MATRIZ INICIAL** | - | 28.000 | - | 14.000 | - | **42.000** |
| **MATRIZ CRESCIMENTO** | 2.000 | 14.000 | 2.000 | - | 56.000 | **74.000** |
| **PRÉ-REPRODUÇÃO** | 12.000 | - | 12.000 | 14.000 | - | **38.000** |
| **REPRODUÇÃO 1** | 36.000 | 22.000 | 42.000 | 22.000 | 36.000 | **158.000** |
| **REPRODUÇÃO 2** | 68.000 | 60.000 | 48.000 | 46.000 | 62.000 | **284.000** |
| **TOTAL DO DIA (Kg)** | **130.000** | **128.000** | **108.000** | **102.000** | **166.000** | |

Tabela 1. Previsão de demanda semanal - Matrizes

Neste método, ocorriam vários problemas no processo de produção, dentre eles, a prévia apresenta unidade de produção em quilos, enquanto a fábrica produz em bateladas. Este erro pode gerar uma produção menor que o desejado, por arredondamentos inadequados, ocasionando falta de ração no campo, ou ainda, produção além do desejado ocasionando a sobra no silo e tornando o mesmo inapto para receber outro tipo de ração, diminuindo, com isto, a capacidade de armazenamento, podendo ocasionar até a parada da linha de produção por falta de local para armazenagem.

Com base nos dados coletados e analisados, definiu-se a sequência de trabalho e partiu-se para a fase de implementação.

### 2.3 Definição da sequência de trabalho

Para definição da sequência de trabalho, reuniu-se os responsáveis pelos setores envolvidos no processo produtivo e utilizou-se o método "5W2H", proposto segundo Marshall Junior (2008), por sua clareza e simplicidade em conduzir as ações, como pode-se observar abaixo:

- What? – O que será feito?

Será utilizado ferramentas de PCP para programação, sequenciamento e controle da produção, conseguindo assim aproveitar da melhor maneira possível a capacidade produtiva da fábrica de rações.

- Who? – Por quem será feito?

A implantação e desenvolvimento, será realizado pelo departamento de PCP da empresa.

- Where? - Onde será feito?

O trabalho será desenvolvido no setor de PCP corporativo da empresa, estendendo os trabalhos a fábrica de rações, onde serão coletados os dados necessários ao projeto.

- When? – Quando será feito?

A implementação foi de caráter imediato, partindo tendo acompanhamento de um mês para coleta de dados e, logo após, sendo realizadas as primeiras inovações visando atingir os objetivos propostos pelo projeto, iniciando com a previsão de demanda, buscando atender a produção dentro do horário de trabalho da fábrica e formalização de uma programação de produção, buscando eliminar e atrasos por parte operacional, tendo sua conclusão no primeiro semestre de 2018.

- Why? – Por que será feito?

As justificativas para realização desta melhoria foram expostas no diagrama de causa e efeito, onde se destacou como principal problema, a falta de ração no campo, devido a demanda de produção não ser atendida, destacando-se como fator principal para que isto ocorra a falta de organização e não utilização de ferramentas adequadas para planejamento da produção.

- How? – Como será feito?

Já tendo em mãos os dados necessários e feita a análise dos mesmos, foi dado o início ao processo de implementação. Em um primeiro momento foi desenvolvido a previsão de demanda semanal para as rações de corte, o setor de PCP adiantará a programação de ração via *software* em pelo menos 10 dias, podendo assim extrair dados confiáveis sobre os envios programados para a próxima semana, a próxima etapa se dará juntando os dados com a previsão de demanda já existente para as rações das granjas de matrizes, formalizando assim uma previsão de demanda

completa com todos os produtos produzidos, estendendo o planejamento a um horizonte médio que abrangerá uma semana, tendo assim a possibilidade de prever a demanda diária a ser produzida neste período.

Ao mesmo tempo, foi criado uma programação de produção, englobando todas as rações produzidas, passando, de uma maneira formal e organizada, a demanda diária a ser produzida pela fábrica. Este foi o primeiro passo para o desenvolvimento do plano mestre de produção que englobou os tempos de produção e sequenciamento, elevando o nível de organização e planejamento, conseguindo, com isso, aproveitar o máximo da capacidade produtiva disponível pela fábrica.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de implementação de PCP na fábrica de rações proposto neste trabalho foi concluído. Após elaborada a previsão de demanda e plano de produção, pode-se colocar os mesmos em prática e já pode-se perceber alguns resultados significativos, como os que estão demonstrados no plano atual e nos gráficos que serão apresentados. Os mesmos foram elaborados comparando a situação atual com a situação anterior a implementação do PCP.

Como pode-se observar na Figura 2, agora a empresa conta com um plano de produção formal, onde todas as rações que serão produzidas por turno, encontram-se na mesma planilha, já com a quantidade de produção adequada a unidade da fábrica, as bateladas. Desta maneira elimina-se o risco de equívocos por parte dos operadores, produzindo a demanda do dia errado, ou ainda, falta de ração, ou sobra no silo, causada por erros de arredondamento, uma vez que, na situação anterior, a demanda era passada para a fábrica em quilos, porém, como já mencionado, a mesma produz em bateladas, eliminou-se desta maneira a sobra de ração no silo, motivo que, por vezes, atrasava a produção por falta de local para armazenamento, uma vez que não pode-se misturar as rações, nem armazená-las em outro local que não seja apropriado para isso, por estar expondo as mesmas a contaminação.

Pode-se ainda, com este novo modelo de plano de produção, estimar o horário mais adequado para o início da produção, uma vez que, durante o primeiro turno não há expedição, deste modo, sabendo exatamente o que deve ser produzido neste horário, consegue-se mensurar a quantidade de horas necessárias para atender a demanda deste turno.

PLANO DIÁRIO DE PRODUÇÃO

DATA: 07/05/2018

BATELADAS:
TURNO 01: 170
TURNO 02: 277
TOTAL: 447

TURNO 01

| LINHA 01 | | | | OBSERVAÇÕES: |
|---|---|---|---|---|
| ORDEM | RAÇÃO | QUANTIDADE | PRIORIDADE | |
| 1 | CRESCIMENTO 2 | 17 | 129 | |
| 2 | CRESCIMENTO 1 | 28 | 45 | |
| 3 | INICIAL | 29 | 41 | |
| 4 | PRE INICIAL | 19 | 10 | |

INÍCIO: 21:09:00 FIM PREVISTO: 05:00:00

| LINHA 02 | | | | OBSERVAÇÕES: |
|---|---|---|---|---|
| ORDEM | RACAO | QUANTIDADE | PRIORIDADE | |
| 1 | MATRIZ MACHOS | 3 | 1600 | |
| 2 | REPRODUÇÃO 2 | 0 | 0 | |
| 3 | REPRODUÇÃO 1 | 0 | 0 | |
| 4 | MATRIZ CRESCIMENTO | 12 | 1100 | |
| 5 | CRESCIMENTO 2 | 34 | 129 | |
| 6 | ACABAMENTO | 26 | 75 | |

INÍCIO: 22:55:36 FIM PREVISTO: 05:00:00

Figura 2. Plano de produção

Após levantar os dados e estudar o problema, fez-se necessária a criação das regras de produção e, para atender estas regras, criou-se alguns controles, conforme pode-se observar no Quadro 2.

| | REGRA | DESCRIÇÃO | AÇÃO NECESSÁRIA |
|---|---|---|---|
| 1 | PRODUZIR POR PRIORIDADE DE ENTREGA | GRANJAS DE POSTURA TEM PRIORIDADE ABSOLUTA, NAO PODEM FICAR SEM RAÇÃO. | CRIAR UM FATOR DE PRIORIDADE |
| | | PRODUTORES QUE PODEM FICAR SEM RAÇÃO DEVEM SER ATENDIDOS PRIMEIRO. | CRIAR UM FATOR DE PRIORIDADE |
| 2 | SILOS QUE JA CONTÉM RAÇÃO NO INÍCIO DA PRODUÇÃO | OS SILOS PODEM JA CONTER RAÇÃO NO INÍCIO DA PRODUÇÃO, COMO NÃO PODE-SE MISTURAR DOIS TIPOS DE RAÇÃO, ESTES SILOS SO PODE RECEBER A RAÇÃO QUE JA CONTÉM, CASO A PRÉVIA SEJA MAIOR QUE A QUANTIDADE JA CONTIDA NELE, OU PERMANECER OCIOSO, CASO A PRÉVIA SEJA MENOR DO QUE O VOLUME JÁ ARMAZENADO. | * CRIAR UMA VERIFICAÇÃO DE QUANTIDADE REMANECENTE NESTES SILOS, APOS O TÉRMINO DA EXPEDIÇÃO DO DIA, E ANTES DO INÍCIO DA EXPEDIÇÃO DO DIA SEGUINTE.<br>* CRIAR CONTROLE DE QUANTIDADES A SEREM PRODUZIDADAS NESTES SILOS PARA QUE A PRÉVIA SEJA ATENDIDA COM EFICÁCIA. |
| 3 | SILOS VAZIOS | PRODUZIR CONFORME TIPO DE RAÇÃO QUE PODE SER PRODUZIDADE NESTE SILO E GRAU DE PRIORIDADE. | *CRIAR REGRA DE FATOR DE PRIORIDADE POR TIPO DE RAÇÃO QUE PODE SER PRODUZIDA EM CADA SILO. |

Quadro 2. Regras de sequenciamento de produção

Para atender a regra número 1, desenvolveu-se junto com a equipe de campo fatores de prioridade. Para as rações de recria e produção foram estipulados fatores fixos e bem elevados garantindo que não faltara ração para estas granjas, conforme Quadro 3.

| REGRA DE PRIORIDADE | |
|---|---|
| PRIORIDADE | RAÇÃO |
| 1600 | MATRIZ MACHOS |
| 1500 | REPRODUÇÃO 2 |
| 1400 | REPRODUÇÃO 1 |
| 1300 | PRE REPRODUÇÃO |
| 1200 | MATRIZ INICIAL |
| 1100 | MATRIZ CRESCIMENTO |

Quadro 3. Fatores de prioridade produção e recria

Para as granjas de frango de corte foram criados fatores variáveis, adaptando-se desta maneira a produção para atender as prioridades de cada dia. Foram definidos os seguintes fatores (Quadro 4):

| REGRA DE PRIORIDADE | |
|---|---|
| PRIORIDADE | SITUAÇÃO |
| 5 | GRANJA SEM RAÇÃO |
| 4 | GRANJA FICARÁ SEM RAÇÃO PELA MANHÃ |
| 3 | GRANJA FICARÁ SEM RAÇÃO DURANTE O DIA |
| 2 | GRANJA FICARÁ SEM RAÇÃO NO PRÓXIMO DIA |
| 1 | GRANJA TEM RAÇÃO PARA O PRÓXIMO DIA OU MAIS |

Quadro 4. Fatores de prioridade frango de corte

Para analisar as situações apresentadas no Quadro 4, faz-se necessário verificar a situação dos lotes atribuindo os fatores correspondentes no momento em que é extraído do sistema de programação de envios a lista de pedidos do próximo dia, para confecção da lista de entregas e verificar previa produção. Conforme podemos observar na figura 3, o sistema apresenta o saldo de ração imaginário, tornando fácil a verificação do fator de prioridade.

Arraste o título da coluna para agrupá-la

| Data | D.Sem | Lote | Sexo | Aves | Idade | Sub-Grupo | Consumo ( | Saldo | Envio (Kg | Sub-Grupo Envio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 02/06/2018 | Sab | 16062 -... | Fêmeas | 0 | -2,00 | PRE INICIAL RAC | 0 | 6.310,00 | 0 | |
| 05/06/2018 | Ter | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 1,00 | PRE INICIAL RAC | 468 | 5.842,00 | 0 | |
| 06/06/2018 | Qua | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 2,00 | PRE INICIAL RAC | 562 | 5.280,00 | 0 | |
| 07/06/2018 | Qui | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 3,00 | PRE INICIAL RAC | 686 | 4.594,00 | 0 | |
| 08/06/2018 | Sex | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 4,00 | PRE INICIAL RAC | 780 | 3.814,00 | 0 | |
| 08/06/2018 | Sex | 16062 -... | Fêmeas | 0 | 4,00 | PRE INICIAL RAC | 0 | 3.814,00 | 14.000 | INICIAL RAC |
| 09/06/2018 | Sab | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 5,00 | PRE INICIAL RAC | 874 | 2.940,00 | 0 | |
| 10/06/2018 | Dom | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 6,00 | PRE INICIAL RAC | 998 | 1.942,00 | 0 | |
| 11/06/2018 | Seg | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 7,00 | PRE INICIAL RAC | 1.123 | 819,00 | 0 | |
| 12/06/2018 | Ter | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 8,00 | INICIAL RAC | 1.248 | 0 | 0 | |
| 13/06/2018 | Qua | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 9,00 | INICIAL RAC | 1.248 | 0 | 0 | |
| 14/06/2018 | Qui | 16062 -... | Fêmeas | 31.200 | 10,00 | INICIAL RAC | 1.310 | 0 | 0 | |

Figura 3. Saldo do lote

Após verificado o fator adequado para o lote, deve-se incluí-lo ao lote na lista de entregas, sendo que esta lista além de ser a base para as entregas da logística.

Para atender a regra número 2, foi necessário criar uma verificação diária de estoque físico, apresentada no Quadro 6.

| | SEG07/05 | | |
|---|---|---|---|
| | HORA: | 22:00 | |
| SILO | COD | RAÇÃO | QTD |
| 1 | 5417 | PRE INICIAL | 1000 |
| 2 | 5417 | INICIAL | 5000 |
| 3 | 5417 | INICIAL | 15000 |
| 4 | 168985 | CRESCIMENTO 1 | 0 |
| 5 | 168986 | CRESCIMENTO 2 | 40000 |
| 6 | 168986 | CRESCIMENTO 2 | 2000 |
| 7 | 168985 | CRESCIMENTO 1 | 17000 |
| 8 | 168985 | CRESCIMENTO 1 | 45000 |
| 9 | 11257 | MATRIZ MACHOS | 4000 |
| 10 | 11256 | MATRIZ CRESCIMENTO | 0 |
| 11 | 34342 | REPRODUCAO 2 | 500 |
| 12 | 34342 | REPRODUCAO 2 | 0 |
| 13 | 5426 | ACABAMENTO | 10000 |
| 14 | 168986 | CRESCIMENTO 2 | 3000 |
| 15 | 5426 | ACABAMENTO | 12000 |
| 16 | 168986 | CRESCIMENTO 2 | 300 |

Quadro 6. Verificação de estoque no final da expedição

A verificação e feita todo dia após o último caminhão ser enviado e antes de iniciar a produção da prévia do dia seguinte.

Após isso, é gerado uma matriz em planilha, que apresenta a quantidade que ainda pode ser produzida nos silos que já contém ração, então faz-se um teste lógico iniciando no silo 01 e, consequentemente, nos demais. A lógica utilizada e que: “se o espaço disponível no silo for maior que a prévia atualizada, produzir neste silo a prévia atualizada, se não produzir o que ainda falta para completar o silo”, ou seja, sua capacidade total menos o que já contém nele. Na próxima linha, ou seja, próximo silo, faz se o mesmo teste lógico. Porém se já produzido o mesmo tipo de ração nos silos anteriores, a quantidade é descontada da prévia e o cálculo é feito com este valor atualizado, descontando a quantidade.

Os que não possuem ração serão apontados na planilha do Quadro 7.

| SILOS | CONTÉM | STATUS | RAÇÃO | QUANTIDADE |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.000 | OCUPADO | | - |
| 2 | 5.000 | OCUPADO | | - |
| 3 | 15.000 | OCUPADO | | - |
| 4 | - | PROGRAMAR | CRESCIMENTO 1 | 45.000 |
| 5 | 40.000 | OCUPADO | | - |
| 6 | 2.000 | OCUPADO | | - |
| 7 | 17.000 | OCUPADO | | - |
| 8 | 45.000 | OCUPADO | | - |
| 9 | 4.000 | OCUPADO | | - |
| 10 | - | PROGRAMAR | MATRIZ CRESCIMENTO | 24.000 |
| 11 | 500 | OCUPADO | | - |
| 12 | - | PROGRAMAR | | - |
| 13 | 10.000 | OCUPADO | | - |
| 14 | 3.000 | OCUPADO | | - |
| 15 | 15.000 | OCUPADO | | - |
| 16 | 300 | OCUPADO | | - |

Quadro 7. Verificação de estoque no final da expedição

Este quadro traz uma visão geral da programação até o momento. A coluna CONTÉM mostra toda a quantidade de ração já programada para ser produzida em cada silo e na coluna STATUS aparece a mensagem OCUPADO, se o somatório for igual a zero, este silo está vazio, então aparecerá a mensagem PROGRAMAR, neste momento inicia-se a programação de produção por meio de sequenciamento de prioridades, cabe ao analista consultar do apêndice E, para verificar qual a prioridade a ser produzida no silo que está vazio.

Concluída esta etapa, todos os silos foram analisados e já pode-se verificar a quantidade total de ração a ser produzida no turno 1, que vai até as 5:00 da manhã. Então, toda a ração a ser produzida para completar silos e nos que estavam vazios é somada e agrupada no Quadro 8, que traz um acumulado por linha e por turno, já calculando a quantidade remanescente para o turno 2, sendo está a prévia menos os estoques que haviam nos silos mais as quantidades produzidas para completar os mesmos e mais as quantidades produzidas nos silos que estavam vazios. Ainda se pode neste quadro, alterar manualmente a quantidade de ração crescimento 2 a ser produzida no turno 02, visando equilibrar as linhas, visto que esta é a única ração que pode ser produzida nas duas linhas.

| PREVIA ATUALIZADA: | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RAÇÃO | LINHAS | PREVIA 01 | | PREVIA 02 | CONFERÊNCIA | | |
| | | COMPLETAR | VAZIOS | TOTAL | TOTAL TURNOS | PRÉVIA | STATUS |
| **PRE INICIAL** | LINHA 01 | 44000 | 0 | 66.900 | 110.900 | 110900 | PROGRAMA OK |
| **INICIAL** | | 70000 | 0 | 82.000 | 152.000 | 152000 | PROGRAMA OK |
| **CRESCIMENTO 1** | | 28000 | 45000 | 116.400 | 189.400 | 189400 | PROGRAMA OK |
| **CRESCIMENTO 2** | | 48000 | 0 | 78.800 | 453.500 | 453500 | PROGRAMA OK |
| | LINHA 02 | 86700 | 0 | 240.000 | | | |
| **ACABAMENTO** | | 65000 | 0 | 108.800 | 173.800 | 173800 | PROGRAMA OK |
| **MATRIZ INICIAL** | | 0 | 0 | - | - | 0 | PROGRAMA OK |
| **MATRIZ CRESCIMENTO** | | 0 | 24000 | - | 24.000 | 24000 | PROGRAMA OK |
| **PRE REPRODUCAO** | | 0 | 0 | - | - | 0 | PROGRAMA OK |
| **MATRIZ MACHOS** | | 6000 | 0 | - | 6.000 | 6000 | PROGRAMA OK |
| **REPRODUÇÃO 1** | | 0 | 0 | - | - | 0 | PROGRAMA OK |
| **REPRODUÇÃO 2** | | 0 | 0 | - | - | 0 | PROGRAMA OK |

Quadro 8. Verificação de estoque no final da expedição

Neste quadro ainda é possível conferir, se realmente toda a prévia foi programada, na coluna STATUS. Toda a ração programada nos quadros anteriores é descontada da prévia, se a soma for igual a zero, aparece a mensagem PROGRAMA OK, caso contrário aparece a mensagem CONFERIR.

O último quadro fornece, finalmente, o sequenciamento da produção para o turno 01 e para o turno 02 em ambas as linhas, como pode-se observar no Quadro 9.

Neste quadro são apresentadas quais as rações e as quantidades a serem produzidas, já sequenciadas conforme as regras de prioridade e convertidas em bateladas, fornecendo os dados necessários para gerar o plano diário de produção já apresentado na Figura 2. Também já pode-se analisar alguns resultados provenientes da previsão de demanda estendida ao horizonte semanal.

| SEQUENCIA TURNO 01 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LINHA 01 | | | | LINHA 02 | | | |
| RAÇÃO | QUANTIDADE | BATELADAS | PRIORIDADE | RAÇÃO | QUANTIDADE | BATELADAS | PRIORIDADE |
| CRESCIMENTO 2 | 44000 | 17,6 | 129 | MATRIZ MACHOS | 6000 | 3 | 1600 |
| CRESCIMENTO 1 | 70000 | 28 | 45 | REPRODUÇÃO 2 | 0 | 0 | 0 |
| INICIAL | 73000 | 29,2 | 41 | REPRODUÇÃO 1 | 0 | 0 | 0 |
| PRE INICIAL | 48000 | 19,2 | 10 | MATRIZ CRESCIMENTO | 24000 | 12 | 1100 |
| | | | | CRESCIMENTO 2 | 86700 | 34,68 | 129 |
| | | | | ACABAMENTO | 65000 | 26 | 75 |
| TOTAL | 235000 | 94 | | TOTAL | 181700 | 75,68 | |

| SEQUENCIA TURNO 02 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LINHA 01 | | | | LINHA 02 | | | |
| RAÇÃO | QUANTIDADE | BATELADAS | PRIORIDADE | RAÇÃO | QUANTIDADE | BATELADAS | PRIORIDADE |
| CRESCIMENTO 2 | 78.800 | 31,52 | 129 | CRESCIMENTO 2 | 240.000 | 96 | 129 |
| CRESCIMENTO 1 | 116.400 | 46,56 | 45 | ACABAMENTO | 108.800 | 44 | 75 |
| INICIAL | 82.000 | 32,8 | 41 | MATRIZ MACHOS | - | - | 0 |
| PRE INICIAL | 66.900 | 26,76 | 10 | REPRODUÇÃO 1 | - | - | 0 |
| | | | | MATRIZ INICIAL | - | - | 0 |
| | | | | REPRODUÇÃO 2 | - | - | 0 |
| | | | | MATRIZ CRESCIMENTO | - | - | 0 |
| | | | | PRE REPRODUÇÃO | - | - | 0 |
| TOTAL | 344.100 | 137,64 | | TOTAL | 348.800 | 139,52 | |

Quadro 9. Sequenciamento da produção

No Quadro 10, pode-se verificar como ficariam as quantidades diárias antes de se trabalhar com uma previsão de demanda, estes dados são reais, mostrando as quantidades a serem produzidas por tipo de ração, dia a dia.

PROGRAMAÇÃO PADRÃO

| | SEGUNDA-FEIRA | | | TERÇA-FEIRA | | | QUARTA-FEIRA | | | QUINTA-FEIRA | | | SEXTA-FEIRA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. |
| | Matriz Galos | 12.000 | | Matriz Galos | 4.000 | | Matriz Galos | 4.000 | | Matriz Galos | 6.000 | | Matriz Galos | 12.000 |
| | Matriz Inicial | - | | Matriz Inicial | 28.000 | | Matriz Inicial | - | | Matriz Inicial | 14.000 | | Matriz Inicial | - |
| | Matriz Crescimento | 2.000 | | Matriz Crescimento | 14.000 | | Matriz Crescimento | 2.000 | | Matriz Crescimento | - | | Matriz Crescimento | 56.000 |
| | Pré-Reprodução | 12.000 | | Pré-Reprodução | - | | Pré-Reprodução | 12.000 | | Pré-Reprodução | 14.000 | | Pré-Reprodução | - |
| L2 | Reprodução 1 | 36.000 | L2 | Reprodução 1 | 22.000 | L2 | Reprodução 1 | 42.000 | L2 | Reprodução 1 | 22.000 | L2 | Reprodução 1 | 36.000 |
| | Reprodução 2 | 68.000 | | Reprodução 2 | 60.000 | | Reprodução 2 | 48.000 | | Reprodução 2 | 46.000 | | Reprodução 2 | 62.000 |
| | ACABAMENTO | 95.600 | | ACABAMENTO | 14.000 | | ACABAMENTO | 61.200 | | ACABAMENTO | 66.400 | | ACABAMENTO | 76.800 |
| | ACABAMENTO RAC | 300.000 | | ACABAMENTO RAC | 182.800 | | ACABAMENTO RAC | 197.400 | | ACABAMENTO RAC | 225.348 | | ACABAMENTO RAC | 481.200 |
| | CRESCIMENTO I | 67.200 | | CRESCIMENTO I | 14.000 | | CRESCIMENTO I | 75.200 | | CRESCIMENTO I | 33.200 | | CRESCIMENTO I | 47.200 |
| | CRESCIMENTO I RAC | 320.400 | | CRESCIMENTO I RAC | 214.300 | | CRESCIMENTO I RAC | 123.600 | | CRESCIMENTO I RAC | 94.200 | | CRESCIMENTO I RAC | 119.200 |
| | CRESCIMENTO II | 94.400 | | CRESCIMENTO II RAC | 217.600 | | CRESCIMENTO II | 14.000 | | CRESCIMENTO II | 19.200 | | CRESCIMENTO II | 9.600 |
| | CRESCIMENTO II RAC | 226.800 | | INICIAL | 12.000 | | CRESCIMENTO II RAC | 161.200 | | CRESCIMENTO II RAC | 155.600 | | CRESCIMENTO II RAC | 203.121 |
| L1 | INICIAL | 33.200 | L1 | INICIAL RAC | 174.800 | L1 | INICIAL | 109.200 | L1 | INICIAL | 26.000 | L1 | INICIAL RAC | 37.736 |
| | INICIAL RAC | 128.000 | | | | | INICIAL RAC | 57.600 | | INICIAL RAC | 45.200 | | | |
| | | | | | | | PRÉ INICIAL | 49.666 | | | | | | |
| | | | | | | | PRÉ INICIAL DSM | 45.739 | | | | | | |
| | TOTAL: | 1.395.600 | | TOTAL: | 957.500 | | TOTAL: | 1.002.805 | | TOTAL: | 767.148 | | TOTAL: | 1.140.857 |

Quadro10. Previsão de demanda padrão

Apresenta-se no Quadro 11, a previsão de demanda para a mesma semana após passar por análise e ajustes, obtém-se este cenário.

PREVISÃO DE DEMADA ATUAL

| | SEGUNDA-FEIRA | | | TERÇA-FEIRA | | | QUARTA-FEIRA | | | QUINTA-FEIRA | | | SEXTA-FEIRA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. | | RAÇÃO | QUANT. |
| | Matriz Galos | 12.000 | | Matriz Galos | 4.000 | | Matriz Galos | 4.000 | | Matriz Galos | 6.000 | | Matriz Galos | 12.000 |
| | Matriz Inicial | - | | Matriz Inicial | 28.000 | | Matriz Inicial | - | | Matriz Inicial | 14.000 | | Matriz Inicial | - |
| | Matriz Crescimento | 2.000 | | Matriz Crescimento | 14.000 | | Matriz Crescimento | 2.000 | | Matriz Crescimento | - | | Matriz Crescimento | 56.000 |
| | Pré-Reprodução | 12.000 | | Pré-Reprodução | - | | Pré-Reprodução | 12.000 | | Pré-Reprodução | 14.000 | | Pré-Reprodução | - |
| L2 | Reprodução 1 | 36.000 | L2 | Reprodução 1 | 22.000 | L2 | Reprodução 1 | 42.000 | L2 | Reprodução 1 | 22.000 | L2 | Reprodução 1 | 36.000 |
| | Reprodução 2 | 68.000 | | Reprodução 2 | 60.000 | | Reprodução 2 | 48.000 | | Reprodução 2 | 46.000 | | Reprodução 2 | 62.000 |
| | ACABAMENTO | 81.600 | | ACABAMENTO | 28.000 | | ACABAMENTO | 61.200 | | ACABAMENTO | 66.400 | | ACABAMENTO | 76.800 |
| | ACABAMENTO RAC | 215.600 | | ACABAMENTO RAC | 308.200 | | ACABAMENTO RAC | 260.600 | | ACABAMENTO RAC | 325.348 | | ACABAMENTO RAC | 277.000 |
| | CRESCIMENTO II RAC | 112.200 | | CRESCIMENTO II RAC | 90.000 | | CRESCIMENTO II RAC | 90.000 | | CRESCIMENTO II RAC | 0 | | CRESCIMENTO II RAC | 0 |
| | CRESCIMENTO I | 45.000 | | CRESCIMENTO I | | | CRESCIMENTO I | 89.200 | | CRESCIMENTO I | 55.400 | | CRESCIMENTO I | 47.200 |
| | CRESCIMENTO I RAC | 175.200 | | CRESCIMENTO I RAC | 233.500 | | CRESCIMENTO I RAC | 137.600 | | CRESCIMENTO I RAC | 94.200 | | CRESCIMENTO I RAC | 231.200 |
| | CRESCIMENTO II | 94.400 | | CRESCIMENTO II RAC | 113.600 | | CRESCIMENTO II | | | CRESCIMENTO II | 33.200 | | CRESCIMENTO II | 9.600 |
| | CRESCIMENTO II RAC | 136.800 | | INICIAL | 12.000 | | CRESCIMENTO II RAC | 71.200 | | CRESCIMENTO II RAC | 147.400 | | CRESCIMENTO II RAC | 203.121 |
| L1 | INICIAL | 33.200 | L1 | INICIAL RAC | 194.000 | L1 | INICIAL | 135.000 | L1 | INICIAL RAC | 82.936 | L1 | | |
| | INICIAL RAC | 86.000 | | | | | INICIAL RAC | 80.400 | | PRÉ INICIAL DSM | 45.739 | | | |
| | | | | | | | | | | PRÉ INICIAL | 49.666 | | | |
| | TOTAL: | 1.110.000 | | TOTAL: | 1.107.300 | | TOTAL: | 1.033.200 | | TOTAL: | 1.002.289 | | TOTAL: | 1.010.921 |

Quadro 11. Previsão de demanda ajustada

Os gráficos a seguir ajudam a interpretar os resultados, no primeiro deles, apresentado na Figura 4, observa-se o equilíbrio de demanda atual quando comparado ao estado anterior, em que não se trabalhava com previsões semanais, limitando se a um planejamento com horizonte a curto prazo onde não se tinha como prever os próximos dias, tendo, assim, um desequilíbrio muito grande na quantidade a ser produzida por dia da semana.

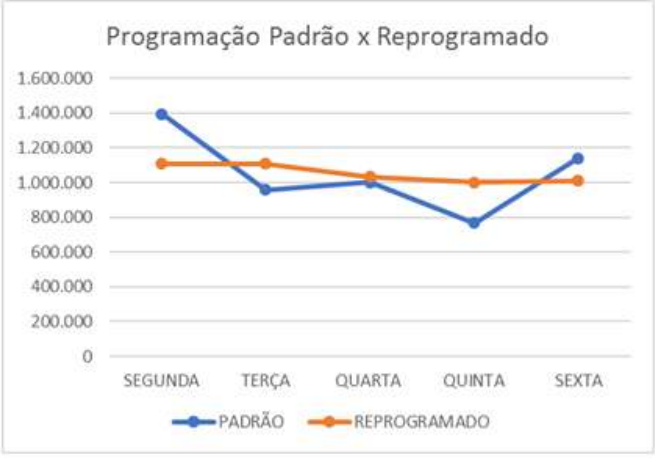



Figura 4. Programação padrão x reprogramado

Também se verifica as consequências provenientes deste desequilíbrio, no gráfico de análise da carga horária apresentado na Figura 5. Fez-se análise de carga horária necessária para cumprir a prévia diária nas duas situações apresentadas, neste apresenta-se três linhas:

Linha azul: representando as vinte e uma horas disponíveis para produção.

Linha laranja: representando a quantidade de horas necessárias para cumprir o plano diário antes do processo de análise e ajustes.

Linha cinza: representado o plano atual após análise e ajustes.

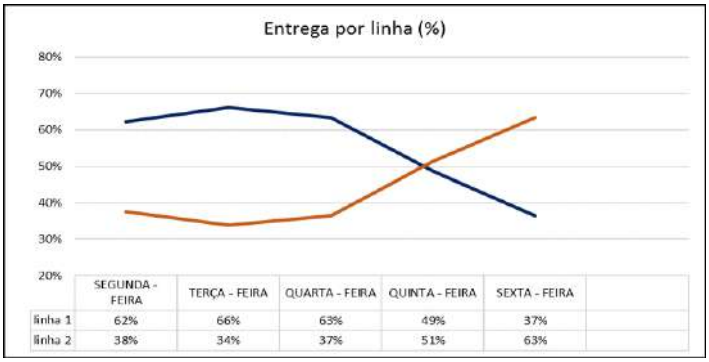



Figura 5. Análise de carga horária

O cálculo foi efetuado, utilizando-se as quantidades a produzir pela capacidade produtiva atual da fábrica que é de 60 toneladas/hora.

Evidencia-se neste gráfico, a otimização conseguida através do estado de organização atual. Como pode-se observar na situação anterior seriam necessárias vinte e três horas de produção para atender o plano na segunda-feira, sobrecarregando a fábrica, com isto ocasionando custos elevados com energia, devido ao fato de trabalhar em horário de pico e, ainda, custos com horas extras. Na terça-feira e quarta-feira, ressalta-se o desperdício de capacidade produtiva com tempo ocioso e na sexta-feira pode-se observar uma demanda próxima ao limite suportado pela fábrica.

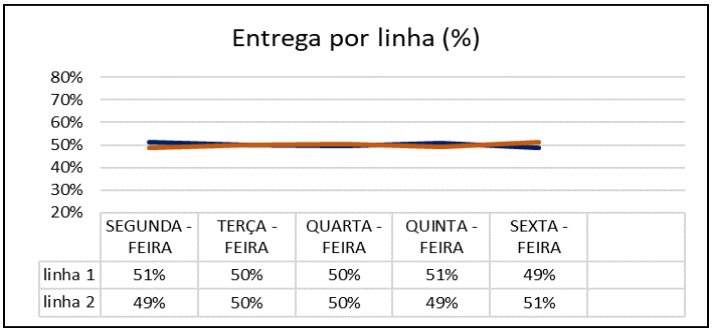
Tem-se ainda, os gráficos de entrega por linha, que compara o equilíbrio nas linhas de expedição. Na Figura 6, observam-se as como ficariam as entregas por linha antes da reprogramação da produção, percebe-se an evidente falta de planejamento com variações superiores a 10 %.




| | SEGUNDA - FEIRA | TERÇA - FEIRA | QUARTA - FEIRA | QUINTA - FEIRA | SEXTA - FEIRA |
|---|---|---|---|---|---|
| linha 1 | 62% | 66% | 63% | 49% | 37% |
| linha 2 | 38% | 34% | 37% | 51% | 63% |

Figura 6. Entrega por linha programação padrão

Já no gráfico da Figura 7, apresenta-se as entregas por linha após feita a análise da previsão e reprogramada a demanda, conseguindo equilibrar com êxito as entregas por linha, uma vez que variações abaixo de 5 % foram consideradas aceitáveis pela a empresa.




| | SEGUNDA - FEIRA | TERÇA - FEIRA | QUARTA - FEIRA | QUINTA - FEIRA | SEXTA - FEIRA |
|---|---|---|---|---|---|
| linha 1 | 51% | 50% | 50% | 51% | 49% |
| linha 2 | 49% | 50% | 50% | 49% | 51% |

Figura 7. Entrega por linha programação ajustada

Estes foram os resultados obtidos, atendendo assim aos objetivos propostos, os mesmos já representam melhoras significativas para an empresa e são a base para continuar buscando de maneira eficiente uma melhoria contínua.

## 4. CONCLUSÕES

Tendo por base a necessidade de um sistema de planejamento e sequenciamento de produção a proposta deste trabalho foi implementar ferramentas de PCP em uma fábrica de rações. A necessidade de um sistema de planejamento surgiu quando se notou o aproveitamento insuficiente da capacidade produtiva da fábrica de rações, ocasionando custos extras, não atendendo a demanda no horário disponível e até mesmo ocasionando falta de ração no campo.

A implementação das ferramentas de PCP, iniciou com a imersão na indústria para coleta de dados. Após, criou-se o plano de produção, definido como padrão a ser seguido e, na sequência, realizou-se um estudo e elaborou-se a previsão de demanda, sendo possível, através destes, atingir o nível de organização desejado para dar continuidade ao projeto.

Os métodos de previsão de demanda e plano de produção apresentaram resultados significativos atendendo aos objetivos, otimizando a produção de modo que a demanda diária seja atendida pela fábrica até o horário pré-estabelecido pela empresa e, com isso, reduzindo custos.

Com a conclusão de todos os objetivos propostos foi possível elaborar o sequenciamento de produção, uma ferramenta indispensável para atender com eficácia a demanda, não deixando faltar ração para os integrados no campo e com isso cumprindo a principal meta da fábrica.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HRADESKY, John L. Aperfeiçoamento da Qualidade e da Produtividade: guia prático para a implementação do controle estatístico de processo. São Paulo; 1989.

LUSTOSA, Leonardo. Planejamento e Controle da Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MARSHALL Jr., Isnard, et al. Gestão da qualidade. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

SINDIRAÇÕES. Disponível em: <http://sindiracoes.org.br/produtos-e-servicos/boletim-informativo-do-setor/>. Acesso em: 22 out. 2017.

TOSO, Eli Angela Vitor; MORABITO, Reinaldo. Otimização no dimensionamento e seqüenciamento de lotes de produção: estudo de caso numa fábrica de rações. São Carlos. 2005.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROPOSTA DE APPCC EM UMA LINHA DE RAÇÃO PELETIZADA PARA FRANGOS

**Renan Carlos Fassicolo**
**Jessie Carvalho Bruhn**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Campus de Erechim
Renan07fassicolo@gmail.com, bruhn@uricer.edu.br

***Resumo.*** *O presente estudo é de cunho qualitativo, onde foi evidenciado a importância do sistema APPCC para a produção de alimentos seguros, tendo em vista que, avalia os perigos aos quais os processos estão expostos, no qual podem ser físicos, químicos e biológicos. Por meio da metodologia estudada, torna-se possível identificar os PCC (Pontos Críticos de Controle) no processo produtivo de alimentos e propor formas de controle através de medidas corretivas e preventivas, designando monitoramento e verificação desses PCC para a seguridade do alimento. Dessa forma, para o desdobramento do sistema APPCC no processo produtivo de ração foi necessário estudar a gestão da qualidade existente na empresa foco deste estudo e analisar os processos de fabricação de ração para atender as etapas do sistema APPCC, sendo elas: A formação da equipe, Descrição da empresa, Descrição do produto, Fluxograma do processo e Aplicação dos Sete Princípios. Por vez, este trabalho estuda o processo de fabricação de ração peletizada, propondo o APPCC para garantir que o produto final seja inócuo e seguro para os consumidores deste alimento, que neste caso são frangos de corte, visto que a empresa não possui este sistema implantado em seus processos, sendo assim, cabe a empresa foco deste estudo sua implantação, tendo em vista que, todos os processos foram devidamente estudados e analisados.*

***Palavras-Chave:*** *APPCC. PCC. Ração. Peletização.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em meio à globalização os desafios econômicos, tecnológicos e ambientais estão em constantes mudanças, frente a isso, as empresas necessitam se transformar para permanecer no mercado competitivo. O agronegócio tem destaque positivo em relação aos outros setores da economia brasileira, sendo assim, para ajudar a impulsionar tal vantagem competitiva e melhorar a eficiência do negócio em busca de redução dos custos e aumento da qualidade dos produtos, torna-se imprescindível a garantia da eficácia dos processos para garantir a qualidade do produto final (FONTANA, 2017).

A qualidade é um meio de se obter vantagem competitiva e as empresas que não derem a devida importância a este fator perderão mercado. Visto que, a produção de alimentos é um mercado forte de atuação nacional, a fabricação de produtos de qualidade torna-se indispensável, pois está relacionada diretamente com a segurança dos alimentos (COELHO, 2014).

Na busca de se obter a garantia da qualidade e à segurança dos alimentos, é recomendada a adesão de sistemas e programas que tem por objetivos assegurar a qualidade destes alimentos, por meio de Boas Práticas de Fabricação (BPF) e o sistema Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC). De acordo com Forsythe (2002), o sistema APPCC tem o foco na prevenção dos riscos relacionados à segurança dos alimentos no qual tem por características embasamentos científicos que identifica tais perigos e medidas de controle, para garantir a segurança dos alimentos diminuindo a ocorrência de doenças transmitidas por tais.

Segundo Silva (2016), o APPCC pode ser utilizado em toda a cadeia produtiva de alimentos, independente do produto e tamanho da empresa a ser utilizado, tendo em vista, à prevenção dos perigos que possam comprometer à segurança dos alimentos, sendo assim, é um método indispensável no ramo alimentício que tem por finalidade promover à saúde de todos aqueles que ingerirem os alimentos, aos quais, apresentam este método introduzido em seu processo produtivo.

Na produção de alimentos, a gestão da qualidade é de fundamental importância em toda a cadeia de suprimentos para garantir a produção de alimentos seguros, visto que é de necessidade a utilização de ferramentas para a gestão da qualidade. Nesse contexto, o sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), mostra-se como uma eficiente ferramenta para aplicação nas organizações de âmbito alimentar (ROCHA *et al*., 2018).

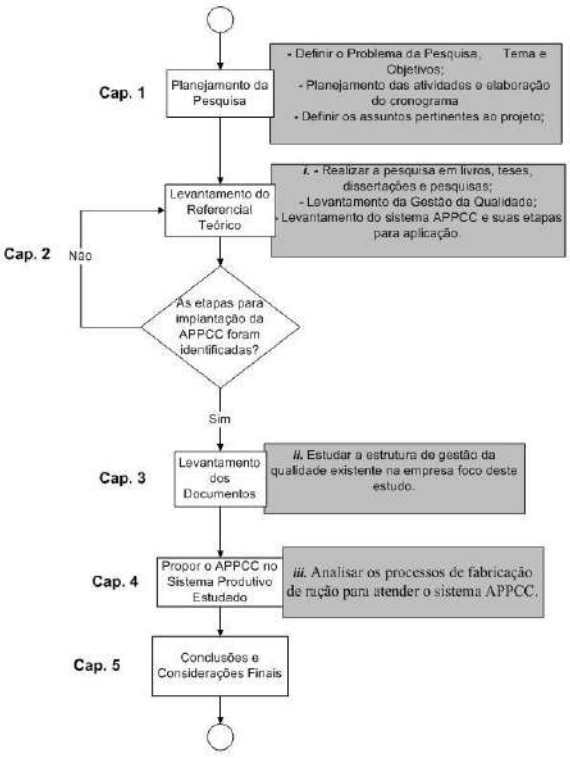
Desse modo, o principal objetivo do presente artigo é propor o APPCC em uma linha de produção de ração peletizada para frangos, visando à garantia no atendimento dos padrões de segurança alimentar. Para atingir o objetivo principal foram definidos três objetivos específicos, são eles:

- Levantar referencial teórico a respeito da gestão da qualidade com foco em APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle), apresentando vantagens e desvantagens, as etapas para implantação;
- Estudar a estrutura de gestão da qualidade existente na empresa foco deste estudo;
- Analisar os processos de fabricação de ração em atendimento ao APPCC.

## 2. METODOLOGIA

Após o aprofundamento das técnicas para a elaboração de pesquisas e os procedimentos metodológicos de necessidade para o artigo, desenvolveu-se a estruturação do trabalho, que tem por objetivo propor o APPCC em uma linha de produção de ração peletizada para frangos de corte, que visa à garantia dos padrões de segurança alimentar na produção de ração. O objetivo em questão será alcançado por meio do progresso dos capítulos da figura 01.

Figura 1 – Metodologia




Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Em virtude das tratativas do planejamento do trabalho, o mesmo consiste na estruturação e caracterização das atividades a serem desenvolvidas, no qual são divididas em três capítulos, no entanto o capítulo quatro será de fato propor o APPCC no sistema produtivo de ração peletizada para frangos, com descrição e interpretação dos resultados do trabalho no capítulo cinco referenciando-se as considerações e conclusões finais.

Para dar aprofundamento ao tema é realizado o objetivo específico *(i)* o levantamento do referencial teórico onde, a pesquisa será buscada em livros, teses, dissertações e pesquisa em geral pertinente à gestão da qualidade e ao sistema APPCC com suas etapas para a aplicação, após, verificar se as etapas para a implementação do plano foram identificadas para dar continuidade ao trabalho, caso contrário, busca-se novamente no referencial teórico à clareza dessas informações para que se possa propor o APPCC no sistema produtivo de ração peletizada para frangos.

Para tal, é preciso entender de fato a estrutura de gestão da qualidade existente na empresa foco desse estudo, que para ser alcançado, precisa também atender o objetivo específico *(ii)*, assim, verificar os documentos que a empresa possui para controle da segurança de seus alimentos produzidos na planta, e por meio da identificação destes documentos e das informações coletadas no processo de produção atual, pode-se de fato executar o capítulo quatro que também está atrelado com o objetivo específico *(iii)*, no qual analisa os processos de fabricação de ração para atender o sistema APPCC, possibilitando identificar os perigos e pontos críticos de controle que o processo de produção de ração peletizada está exposto e dessa forma, realizar a proposta de APPCC na linha de produção de ração peletizada para frangos.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Gestão da Qualidade

Na industrialização, a sociedade utilizava-se da garantia da qualidade por meio da inspeção em seus processos para produzir e vender seus produtos e serviços, com uma certa confiança. Após a Segunda Guerra Mundial, com o avanço da industrialização, tornou-se essencial aprimorar os produtos e processos para garantir vantagens competitivas, visto que o mercado exigia qualidade e bom preço, não era suficiente ter o melhor produto, mas sim utilizar de técnicas e métodos para produzir com eficiência e eficácia (RAMOS, 2016).

Sendo assim, surge a Gestão da Qualidade no qual Miguel (2005), define como conjuntos de atividades coordenadas utilizadas para gerir uma organização, baseada nas necessidades dos clientes que atendem os requisitos de qualidade do produto, no qual engloba o planejamento, controle e a garantia dos processos em busca sempre da melhoria da qualidade.

Para a implantação de uma gestão da qualidade no setor alimentício FEO (2012) descreve que é possível utilizar sistemas (métodos e procedimentos) já testados, e literatura de fácil acesso como os sistemas GMP (Guidelines for Development of Good Manufacturing Practices) e HACCP (Harzard Analysis and Critical Control Points). A garantia de alimentos seguros para o consumo é hoje uma necessidade de produtores e consumidores, para tanto a implementação de um sistema que garanta esta segurança (APPCC), é o passo inicial para o desenvolvimento desta nova forma de produção (FORTES, 2002).

O sistema APPCC, age de forma proativa, por meio da identificação e controle dos pontos críticos de controle, sendo assim, corrigindo falhas durante o processo de produção, como seu propósito é agir no processo e não no produto final, a aplicação da APPCC reduz custos com amostragens do produto final, evita desperdícios do produto acabado, diminui o número de análises realizadas durante o processo, fazendo com que o sistema seja prático com baixo custo, caracterizando-se como uma ferramenta eficaz na prevenção de falhas (PERES *et al*., 2017).

### 3.2 Método APPCC

Para a implementação do APPCC, são necessários alguns pré- requisitos, como ter o BPF implantado na organização, pois fornecem as condições mínimas para monitoramento e controle da água, da limpeza das instalações e máquinas, da prevenção de contaminação cruzada, para o uso de produtos de limpeza e materiais não tóxicos, da higiene pessoal, saúde dos trabalhadores, controle de pragas e recebimento e estocagem de matérias primas. Tais fatores contribuem para a segurança na produção de alimentos seguros (BRUM, 2004).

Segundo Martins e Andrade (2011), o sistema APPCC é um plano, onde acontece a identificação das etapas do processo, que são pontos críticos à segurança do produto, onde esses pontos devem ser identificados e controlados sistematicamente no processo produtivo, por meio de procedimentos de monitoração e medidas de controle caso aconteça desvios no processo. Sendo assim, quando os pré-requisitos estão implantados de forma correta, diminuem os pontos críticos de controle a serem monitorados, o que facilita a gestão do APPCC.

O sistema APPCC tem como foco o processo de gestão que tem por finalidade garantir a seguridade alimentar, baseados em princípios que identificam os perigos existentes no processo de toda a cadeia alimentar e estabelece controles para evitar esses perigos. Tem como base um sistema lógico que identifica todas as etapas na produção de alimentos, desde o recebimento de matérias primas até o produto final destinado ao consumidor, envolvendo também todas as atividades intermediárias de necessidade para a produção (MORTIMORE e WALLECE, 2001).

Porém, o sistema APPCC apresenta algumas desvantagens, sua adesão aos processos produtivos é considerada lenta e demanda um longo período de implementação, apresenta baixa adesão pelas empresas tendo em vista a falta de visão de seu real custo x benefício, e sempre que há troca de um funcionário envolvido no processo é preciso aplicar um novo treinamento para que o mesmo saiba da importância da segurança alimentar e do funcionamento do APPCC, também necessita de mão de obra qualificada para a implementação do sistema e a manutenção do plano, bem como suas revisões (LOVATTI, 2004).

De acordo com Mortimore e Wallece (2001), o sistema APPCC é formado por sete princípios que determinam como estabelecer, implantar e manter o plano APPCC. Tais princípios foram adotados pelo Codex Alimentarius e pelo NACMCF (National Advisory Committee on Mcrobiological Criteria for Foods).

Dessa forma, os princípios para estabelecer, implantar e manter o plano APPCC são: Análise dos perigos (químicos, físicos e biológicos) e a caracterização das medidas preventivas; Identificação dos pontos críticos de controle (PCC); Estabelecer os limites críticos para cada PCC; Estabelecer os procedimentos para monitorização; Estabelecer ações corretivas; Estabelecer os procedimentos para verificação; E o último estabelecer os procedimentos de documentação e registros.

### 3.3 Etapas de desenvolvimento da APPCC

No Brasil o sistema APPCC, passou a ter importância e ser implantado nas empresas por volta de 1993, onde o MAPA (ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), estabeleceu algumas normas para as empresas

produtoras de pescados e seus derivados. Sendo assim, o ministério da saúde estabeleceu por meio da portaria n° 1.428 à obrigatoriedade de procedimentos para a implantação do sistema APPCC, nas indústrias de alimentos, onde passou a vigorar a partir do ano 1994 (PORTARIA N° 46, DE 10 DE FEVEREIIRO DE 1998).

Nesta portaria do Mapa no ano de 1998 foi divulgado o manual de procedimentos para a implantação do sistema APPCC nas indústrias de produtos de origem animal destinado a alimentação humana, tendo em vista que, a empresa estudada não conta em seus processos este sistema, tornando oportuno sua aplicação.

O plano APPCC é um documento que descreve os procedimentos e compromissos a serem assumidos pela indústria, que asseguram a qualidade e inocuidade de seus produtos, através do controle de qualidade, fundamentados nos princípios desse sistema. De acordo com a portaria n° 46 de 10 de fevereiro de 1998, o plano é desenvolvido por meio de uma sequência lógica de etapas, distribuídas dessa forma: Etapa 01, formação da equipe; Etapa 02, descrição da empresa; Etapa 03, descrição do produto; Etapa 04, construção do fluxograma do processo; Etapa 05, aplicação da sequência lógica dos princípios de APPCC (CODEX ALIMENTARIUS, 2013).

### 3.4 Cenário Estudado

Nesta etapa do trabalho, tem-se por finalidade alcançar o objetivo específico *(ii)* que é estudar a estrutura de gestão da qualidade existente na empresa foco deste estudo para poder entender de fato, como a empresa trabalha na gestão da qualidade e quais normas e procedimentos ela atende, por meio destes e a partir das informações coletadas no processo de produção existente na empresa, realizar a proposta de APPCC na linha de produção de ração peletizada para frangos.

A instrução normativa N° 4 de 23 de fevereiro de 2007 é a base de toda a estrutura de gestão da qualidade da empresa, ela descreve o regulamento técnico sobre as Boas Práticas de fabricação para estabelecimentos fabricantes de ração animal, dessa forma a empresa tem descrito um manual de BPF que foi elaborado com o intuito de Implantar, monitorar, verificar e revisar os procedimentos de fabricação dos alimentos destinados ao consumo dos animais (frangos e suínos) produzidos na unidade, bem como destina-los ao conhecimento de todos os colaboradores da empresa, conforme exigência da Instrução Normativa Nº 4 de 23 de Fevereiro de 2007, tendo em vista que na indústria de alimentos os colaboradores são parte vital do processo para a produção de alimentos seguros.

Para a execução do BPF, a norma descreve os Procedimentos Operacionais Padrões (POP) que devem ser implementados para o cumprimento da norma, dessa forma a empresa contempla os seguintes itens em seus processos de fabricação de rações: a) Qualificação de fornecedores e controle de matérias-primas e de embalagens; b) Limpeza/Higienização de instalações, equipamentos e utensílios; c) Higiene e saúde pessoal; d) Potabilidade da água e higienização de reservatório; e) Prevenção de contaminação cruzada; f) Manutenção e calibração de equipamentos e instrumentos; g) Controle integrado de pragas; h) Controle de resíduos e efluentes; i) Programa de rastreabilidade e recolhimento de produtos (Recall).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Propor a APPCC no Sistema Produtivo Estudado

Em virtude dos procedimentos metodológicos abordados neste trabalho, este capítulo, tem por objetivo desenvolver as etapas do APPCC em relação aos processos de fabricação de rações estudados na empresa foco deste estudo, visando à garantia no atendimento dos padrões de segurança alimentar, sendo assim, este está atribuído ao atendimento do objetivo *(iii)* deste trabalho, no qual analisa os processos de fabricação de ração em atendimento ao sistema APPCC.

Tendo em vista que, este trabalho trata-se de uma proposta de APPCC em uma linha de ração peletizada para frangos, este princípio deve ser de fato executado quando for realmente implementado na empresa foco desse estudo, ou seja, tudo o que foi abordado nas etapas de APPCC, devem ser definidas e registradas por meio de um manual e revisadas periodicamente ou sempre que houver qualquer alteração nos processos de manufatura de ração. Portanto, o trabalho foi abordado até o princípio 06 da Etapa 05 e última do sistema APPCC, visto que o princípio 07 está relacionado com a documentação e registros de todas as etapas e princípios abordados por meio deste trabalho.

Dessa forma, foi possível propor o plano APPCC no processo de fabricação de ração peletizada para frangos, onde todas as etapas deste método foram cumpridas e descritas neste trabalho. Para tal, o Quadro 01- Plano de APPCC no Processo de Produção de Ração Peletizada para Frangos, descreve todos os princípios aqui abordados e estudados, apresentando assim, tais informações compiladas e organizadas para fácil interpretação das informações extraídas no processo estudado.

Quadro 01- Plano de APPCC no Processo de Produção de Ração Peletizada para Frangos

| Etapa do Processo que os PCC's foram encontrados | Perigo | Limites Críticos | Procedimentos de Monitoramento | | | | | Ação Corretiva | Procedimentos de Verificação | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | O quê | Como | Frequência | Quem | Registro | | O quê | Frequência | Quem | Registro |
| PCC 01 Dosador líquido do antisalmonella | B-Salmonella | Dosagem do antisalmonella líquido em 960ml/min. | Monitoramento do Funcionamento do equipamento dosador de antisalmonella (sinal luminoso e sonoro). | Aferindo o equipamento para verificação da quantidade dosada se está de acordo com o recomendado, e analisando o funcionamento do sinal luminoso e sonoro. | Diário | Empregado responsável pelo monitoramento. | Formulário do POP 05 de monitoramento e verificação do dosador líquido do antisalmonella. | Informar o responsável do controle de Qualidade para que as medidas cabíveis ao problema apresentado sejam tomadas. | Avaliar o monitoramento | Semanal | Funcionário do Controle de Qualidade. | Formulário do POP 05 de monitoramento e verificação do dosador líquido do antisalmonella. |
| PCC 02 Peletização | B-Salmonella | Peletizar a temperatura acima de 80°C. | Monitoramento do controle de temperatura das peletizadoras. | Com utilização de termomêtro digital tipo espeto para aferição da temperatura de funcionamento das peletizadoras | A cada 02 horas de peletização | Empregado responsável pelo monitoramento. | Formulário do POP 06 de Manutenção e calibração de equipamentos e instrumentos. | Informar os responsáveis de manutenção caso a temperatura não atinja o mínimo permitido para este processo. | Avaliar o monitoramento | Semanal | Funcionário do Controle de Qualidade. | Formulário do POP 06 de Manutenção e calibração de equipamentos e instrumentos. |
| PCC 03 Resfriador | B-Salmonella | Ausência de Salmonella neste processo. | Monitoramento do acompanhamento de higienização do equipamento, e análise das condições dos pontos de entrada de ar e filtros. | Por meio de inspeção visual da limpeza do equipamento e das condições dos filtros de ar, livres de poeiras e em boas condições e para acompanhamento realizar análise de salmonella nesses pontos. | Semanal | Empregado responsável pelo monitoramento. | Formulário do POP 02 Limpeza/Higienização de instalações, equipamentos e utensílios. | Informar o responsável do controle de Qualidade quando apresentado qualquer anomalia no processo, para que os responsáveis pela limpeza sejam cobrados e a manutenção acionada. | Avaliar o monitoramento | Quinzenal | Funcionário do Controle de Qualidade. | Formulário do POP 02 Limpeza/Higienização de instalações, equipamentos e utensílios. |
| PCC 04 Silos de Armazenagem de Ração | B-Salmonella | Ausência de salmonella neste processo. | Monitoramento e acompanhamento da higienização da armazenagem de ração para eficiente desinfecção. | Por meio de inspeção visual da limpeza dos Silos de Armazenagem, e acompanhamento no processo de desinfecção neste ambiente, por meio da aplicação do líquido. | Semanal | Empregado responsável pelo monitoramento. | Formulário do POP 02 Limpeza/Higienização de instalações, equipamentos e utensílios. | Informar o responsável do controle de Qualidade caso qualquer anomalia apresentada neste processo seja apresentada, e solicitar a higienização e desinfecção do local imediatamente e tratar a ração contaminada. | Avaliar o monitoramento | Quinzenal | Funcionário do Controle de Qualidade. | Formulário do POP 02 Limpeza/Higienização de instalações, equipamentos e utensílios. |
| PCC 05 Expedição de Produto Acabado (Caminhões) | F-Metais | Ausência de qualquer metal no produto acabado. | Monitoramento da presença de metais na ração. | Por meio da colocação de Imãs na caída das rações no caminhão graneleiro, e limpeza dos mesmos diariamente. | Diário | Empregado responsável pelo monitoramento. | Formulário do POP 05 de Prevenção de contaminação cruzada. | Tendo em vista que todo metal ficará retido nos imãs não terá ação corretiva, desde que os imãs sejam limpados diariamente para não ficar excesso de metais sobrepostos ao mesmo. | Avaliar o monitoramento | Semanal | Funcionário do Controle de Qualidade. | Formulário do POP 05 de Prevenção de contaminação cruzada. |
| PCC 06 Expedição de Produto Acabado (Caminhões) | B-Salmonella | Ausência de salmonella neste processo. | Monitoramento do acompanhamento da higienização dos silos dos caminhões transportadores armazenagem. | Por meio de inspeção visual da limpeza dos Silos dos caminhões, e acompanhamento no processo de desinfecção neste ambiente, por meio da aplicação do líquido antisalmonella nos silos. | Semanal | Empregado responsável pelo monitoramento. | Formulário do POP 02 Limpeza/Higienização de instalações, equipamentos e utensílios. | Informar o responsável do controle de Qualidade caso qualquer anomalia apresentada neste processo seja apresentada, e solicitar a higienização e desinfecção do local imediatamente e tratar a ração contaminada. | Avaliar o monitoramento | Quinzenal | Funcionário do Controle de Qualidade. | Formulário do POP 02 Limpeza/Higienização de instalações, equipamentos e utensílios. |

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a literatura, são várias as vantagens da implantação do sistema APPCC, independente do segmento do alimento estudado, ou seja, tanto para alimentos destinados a consumidores humanos como aos animais, objetivando a diminuição de custos operacionais por diminuição de retrabalhos ou por descarte de produto acabado por falhas no processo, aumentando a credibilidade junto ao consumidor e elevando o nível de qualidade do produto entregue. Sendo assim, o APPCC mostra-se como uma eficiente ferramenta para obter-se vantagem competitiva tanto no mercado nacional como internacional devido ao alto grau de confiabilidade que o mesmo apresenta no ramo alimentício.

Dessa forma, para atingir a proposta de APPCC na linha de ração peletizada para frangos, sendo este o objetivo principal deste trabalho, foi realizado os objetivos específicos *(i)*, *(ii)* e *(iii)*, que por meio deles foi possível identificar as vantagens e desvantagens do APPCC, as etapas necessárias para a aplicação do método, o entendimento da estrutura de gestão da qualidade praticada pela empresa foco deste estudo e analisar os processos de fabricação de ração para atender o sistema APPCC.

Sendo assim, com a documentação da gestão da qualidade existente na empresa devidamente estudada, tem-se a clareza do que a empresa realiza em seus controles na fabricação de ração peletizada, e por meio disso, foi identificado que não há nenhum meio de análise dos perigos químicos, físicos e biológicos separadamente em cada processo na fabricação de rações e também não apresenta nenhuma avaliação dos pontos críticos de controle que possam afetar a

qualidade do produto final, porém apresenta as boas práticas de fabricação muito bem estruturada implantada em seus processos, este que é o principal requisito para aplicação de APPCC em uma indústria. Portanto, com embasamento no referencial teórico, no qual propiciou conhecimento técnico ao assunto abordado por este trabalho, tornou-se possível analisar os processos de fabricação de ração em atendimento ao sistema APPCC, dessa forma, o principal objetivo do presente estudo de propor o APPCC em uma linha de produção de ração peletizada para frangos foi alcançado.

Para o alcance deste objetivo foi desenvolvido as etapas da APPCC no processo produtivo de ração peletizada, sendo elas: Formação da Equipe Multidisciplinar; Descrição da empresa; descrição do Produto; Fluxograma do Processo estudado e Aplicação dos Sete Princípios sendo eles: Análise dos perigos e a caracterização das medidas preventivas; Identificação dos pontos críticos de controle (PCC) no processo de fabricação de ração; Estabelecido os limites críticos para cada PCC encontrado; Estabelecimento dos procedimentos para monitorização; Estabelecimento das ações corretivas para cada PCC, caso apresenta-se fora dos limites definidos; Estabelecimento dos procedimentos de verificação e Estabelecimento dos procedimentos de documentação e registros.

Em virtude do que foi mencionado, a proposta de APPCC na linha de ração peletizada para frangos foi realizada, visto que, todos os objetivos específicos deste trabalho foram alcançados, desta forma, cabe a empresa foco deste estudo decidir pela implantação deste sistema em seus processos de fabricação de ração, para garantia da segurança dos alimentos ali produzidos.

## 6. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 04, de 23 de Fevereiro de 2007.

BRUM, J. V. F.; **Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle em Indústria de Laticínios de Curitiba – PR**. 2004. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CODEX ALIMENTARIUS. **Food Hygiene Basic Texts.** Food and Agricultural Organization of the United Nations. World Health Organization, Rome, 2013.

COELHO, R. C. P. **Impactos dos Programas para a Segurança do Alimento (BPF E APPCC) Adotados por Empresas Produtoras de Alimentos para Animais.** 2014. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)- Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 2014.

FEO, E. A. Gestão da qualidade na indústria alimentícia. **FATEC**. Ourinhos, agosto 2012. Disponível em: <http://portal.estacio.br/media/3708653/eliana-feo.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

FONTANA, D. C. **Estruturação do Sistema de Gestão Integrado em ema Fábrica de Rações para Aves de Corte e Suínos.** 2017. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)- Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

FORSYTHE, S. J.(2002). Microbiologia da Segurança Alimentar (424 p. ) Porto Alegre: Artmed.

FORTES, M. B. **Sistema de análise de perigos e pontos críticos de controle – APPCC, em uma indústria de embutidos de frango e suas implicações para a competitividade**. 2002. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Centro de Pesquisa em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

LOVATTI, R.C.C. **Gestão da qualidade em alimentos:** uma abordagem prática. Revista Higiene Alimentar, v. 18, n 122, p.26-31, 2004.

MARTINS, P. F.; ANDRADE, H.V. Identificação de resíduos de antibióticos na recepção de leite cru pré-beneficiado como perigo potencial para implantação do plano APPCC em laticínios. Fazu, Uberaba, n. 8, p. 108-114, 2011.

MORTIMORE, S.; WALLACE, C. **HACCP, enfoque práctico. 2**° ed. España 2001.

MIGUEL, P. A.C. **Gestão da Qualidade: TQM e modelos de excelência.** In: CARVALHO, M. M. de; PALADINI E. P. (Org.). Gestão da Qualidade: Teoria e Casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

PERES, C. K. et al. Relação do sistema Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle com a norma ISO 22000: estudo de caso. **Espacios,** v. 38, p.7, 2017.

RAMOS, M. M. R.; **Análise Comparativa e Propositiva de Diretrizes de um Sistema de Gestão da Qualidade para Institutos Brasileiros de Ensino Superior.** 2016. 68f. Monografia (Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, CT-UFC, Salvador, 2016.

ROCHA, A. O. B; RAMOS, C. G. S.; CLARINDO, J. G.; ARAÚJO, M.S. Diagnóstico da Utilização do Sistema APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle) em uma Indústria de Leite e Derivados. **CEUNES/DETEC.** São Mateus, ES, Vol. 4, N.º 2, p. 135-159. (2018).

SILVA, D. C. **Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) em *steaks* preparados em serviço de alimentação.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos Curso de Engenharia de Alimentos, Porto Alegre, RS, 2016.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluídos neste artigo.

CONIGTI

# Engenharia de Produção:
# Projeto de Fábrica / Instalações Industriais

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE EQUIPAMENTO PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA MONTAGEM DE IMPLEMENTOS FLORESTAIS

**Anderson de Souza**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
175513@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo:*** *As montagens de implementos em geral podem ser executadas de diversas formas, a mais comum é lançando mão de equipamentos universais para movimentação e manipulação como ponte rolante com talha elétrica ou manual e empilhadeiras a combustão ou elétrica. Porém, na maioria das vezes está não é a forma mais eficiente, já que ambos foram desenvolvidos para movimentação e manipulação de produtos diversos. O trabalho proposto visa desenvolver o conceito de um equipamento para manipular ou suspender implementos florestais durante a montagem de forma que seja reduzido o tempo de montagem destes implementos florestais, reduza os danos a pintura, traga benefícios ergonômicos, segurança ao montador e redução de custos, para isso será utilizado um método de desenvolvimento de produtos, estabelecendo os requisitos que nortearão o projeto e as funções que auxiliarão no desenvolvimento do conceito. O conceito foi elaborado observando tempos de montagem e de repintura, coleta de número de acidentes e afastamentos registrados, coleta de sugestões com os envolvidos no processo de montagem, incluindo mecânicos, supervisão, gerência e pessoal de projetos. Como resultado será estabelecido e avaliado um conceito para o equipamento de manipulação/montagem/suspensão de implementos florestais.*

***Palavras Chave:*** *Implementos Florestais, Montagem de Implementos, Eficiência na Montagem.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de madeira reflorestada e seus derivados no mundo, 9º maior reflorestador segundo dados da FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), citados por Moreira et al. (2017), sendo um grande reflorestador de eucalipto e pinus para produção de celulose, papel, madeira sólida, madeira reconstituída e madeira para energia. Também existe um relevante mercado de madeira nativa, colhido através da chamada supressão florestal, que é autorizada legalmente para abertura de áreas de mineração, linhas de transmissão e estradas, e também preparação de lagos de usinas hidroelétricas, entre outros, sendo que "de fato, o mercado florestal representa 5 % do PIB e 8% das exportações Brasileiras" (Carvalho et al., 2005).

Como consequência dos números citados, o Brasil é um dos maiores mercados consumidores de implementos florestais e naturalmente passou a ser também um dos mais importantes mercados para fabricantes da Europa, Estados Unidos e Canadá, e de forma mais especial para fabricantes nacionais que tem se multiplicado ano a ano.

"Paralelamente aos desafios impostos pela globalização da economia, verifica-se que a competição entre as empresas, em nível mundial, aumentou consideravelmente", segundo Scur et al. (2013). Fabricantes do mundo inteiro enfrentam dificuldades diversas para competir, alguns mercados existem dificuldades com custo da mão de obra, qualificação da mão de obra, em outros há falta de capacidade de investimento, ou ainda altos impostos, dificuldades em logística, entre outros diversos possíveis redutores de competitividade, desta forma a adoção de soluções como, dispositivos, gabaritos, equipamentos e máquinas especificas aplicadas a determinados tipos ou famílias de implementos que possam agilizar e até automatizar processos podem fazer toda a diferença, reduzir custos, aumentar a capacidade produtiva, melhorar margens de lucro. Pasqualini et al. (2012), reforçam que fabricar produtos de qualidade atualmente não se trata de um diferencial, mas sim de uma obrigação e uma exigência do mercado. O melhor caminho é otimizando sua manufatura, seja fazendo uso de tecnologias de ponta ou implantando projetos de melhorias de concepção simples.

Frente ao quadro descrito, o presente trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento do conceito de um equipamento para aumento da eficiência na montagem de implementos florestais, aplicando o método de desenvolvimento de produtos, melhora dos riscos de ergonomia e segurança, redução do tempo de montagem e redução

do retrabalho de pintura. Na sequência mostra-se como é o processo atual, nas figuras é possível observar partes apoiadas com madeira gerando riscos de acidente, dificuldades ergonômicas e danos a pintura devido a atrito com o solo e com as cintas de elevação de carga.




Figura 1. Montagem realizada de forma tradicional

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

No intuito de desenvolver o conceito de um produto inovador para montagem de equipamentos florestais, foi decidido pelo uso das duas primeiras fases do modelo de Pahl et al. (2005), que compreendem o planejamento do produto, através da especificação dos requisitos de projeto e o estabelecimento do conceito funcional do mesmo com a explicação do seu funcionamento. A Figura 2 do trabalho de Pahl et al. (2005), ilustra as fases de desenvolvimento proposta, método também são propostos por Back et al. (2008), Baxter (2011) e Rozenfeld et al. (2006).

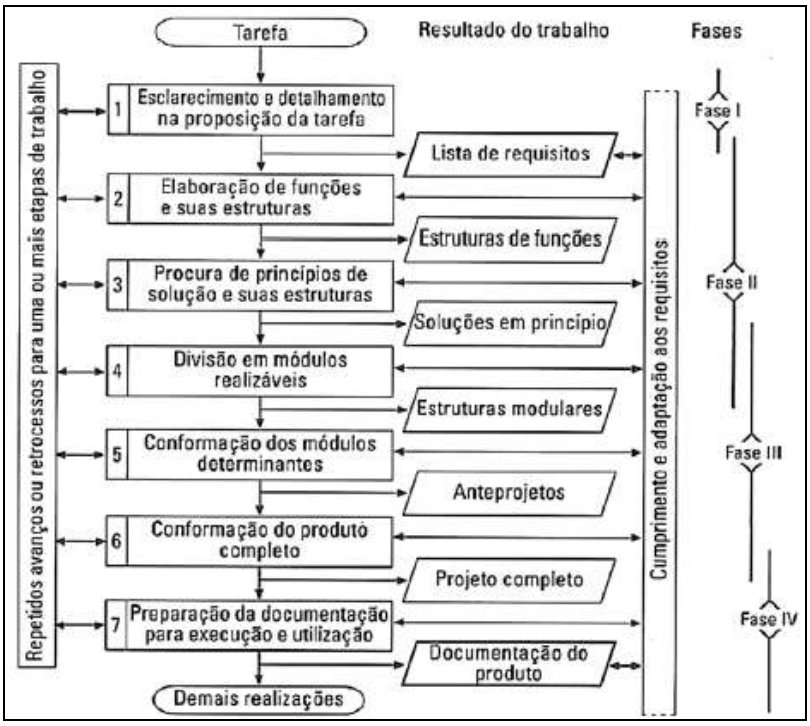



Figura 2. Metodologia de Pahl et al

### 2.1 Lista de Requisitos (Fase de Planejamento)

O estabelecimento dos requisitos do projeto, que compreende a fase de planejamento foi realizado através de coleta de sugestões com pessoas que possam contribuir para melhoria do processo de montagem, incluindo mecânicos, supervisor de fabricação, gerente industrial, projetistas, diretores industrial e geral, entre outros, e a partir destas informações elaborou-se uma lista de requisitos que ajudará a guiar a etapa seguinte, de concepção. Os requisitos para o projeto do equipamento foram elaborados utilizando algumas características propostas pelo autor Pahl et al. (2005). O Quadro 1 mostra os requisitos planejados para a elaboração do conceito do equipamento montagem de implementos florestais.

Quadro 1. Lista de requisitos do produto

| Equipamento para aumento da eficiência na montagem de Implementos florestais. | | | Data Última Revisão |
|---|---|---|---|
| J de Souza, Dpto de Produção, Divisão de Fabricação de Equipamentos, Setor de Montagem. | | | 04/05/2019 |
| **Características** | **N/D** | **REQUISITOS** | **Responsável** |
| Forças | N | Suspender Garras, Garra Traçadoras (1.700 kg) | Setor de Projetos |
| | D | Suspender Cabeçotes Multifuncionais (2.000 kg) | Setor de Projetos |
| Cinemática | D | Inclinar em dois sentidos Garras, Garras Traçadoras e Cabeçotes Multifuncionais | Setor de Projetos |
| Custos | N | Ser operado por somente um profissional | Setor de Projetos |
| Energia | D | Acionado por cilindros hidráulicos | Setor de Projetos |
| Operação | N | Talha de pequeno porte dedicada para alimentar o suporte de montagem, 1,5 ton | Setor de Projetos |

Quadro 2. Lista de requisitos do produto (continuação)

| Características | N/D | REQUISITOS | Responsável |
|---|---|---|---|
| Operação | D | Controle remoto para acionamento do equipamento de montagem e o implemento em teste em teste | Wiatec Automação |
| Ergonomia | N | Altura variável para melhorar a posição de montagem e acesso | Setor de Projetos |
| Operação | D | Possibilidade de testar todas as funções hidráulicas ao mesmo tempo | Setor de Projetos |
| Geometria | N | Espaço adequado e dedicado a montagem | Diretor/Gerente Industrial |
| Ergonomia | N | Ferramenta manuais ao alcance da mão. | Setor de Projetos |
| Ergonomia | D | Ferramentas pneumáticas para auxílio | Diretor/Gerente Industrial |
| Operação | D | Evitar retrabalho de pintura | Setor de Projetos |
| Operação | N | Reduzir danos a pintura | Setor de Projetos |
| Produção | D | Fabricação interna | Setor de Projetos |
| Segurança | D | Equipamento Fixo por parafusos | Setor de Projetos |

Os itens classificados em "D" são classificados como desejáveis e os classificados em "N" como necessários, acredita-se que se atendo estes requisitos o produto entregará diversas melhoras ao processo alcançando os objetivos principais e secundário do processo

## 2.2 Concepção

Após a lista de requisitos estar definida passou-se para a segunda fase da metodologia de Pahl et al. (2005), estabelecendo a concepção do produto. Utilizando-se da lista de requisitos e a ferramenta de abstração, proposta pelos autores, se definiu a função global que o produto deve cumprir, o fluxograma da Figura 3 apresenta as entradas, saídas e a função global encontrada, assim como as sub funções necessárias para o atendimento da função principal.

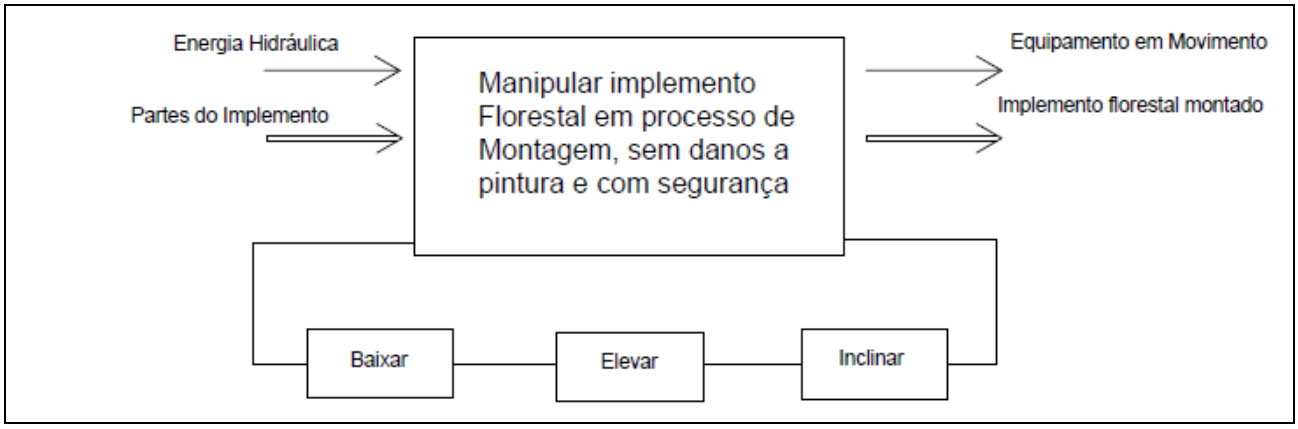



Figura 3. Função Global do Produto e Sub funções

## 2.3 Soluções propostas

Back et al. (2008) citam alguns métodos sistemáticos para geração de concepções, neste trabalho foi optado pelo método da matriz morfológica, onde são apresentadas algumas opções de solução para cada sub função determinada, mostradas no Quadro 1. Verifica-se no Quadro 2, marcados com um caminho e com um "X" colorido, duas possibilidades de variantes de solução para o conceito do projeto em questão, que serão avaliadas posteriormente. Tais possibilidades de solução foram determinadas observando critérios de compatibilidade entre possíveis soluções.

| Sub-funções | opção 1 | opção 2 | opção 3 | opção 4 | opção 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fixar a cabeça ao equipamento de montagem** | Parafusar na furação do rotator X | Fixar através de imã | Fixar com presilhas | | |
| **Acionamento do equipamento** | Alavancas de comando Hidráulico | Painél com botões | Controle remoto X | | |
| **Elevar a cabeça implemento florestal a ser montado** | Cilindro Hidráulico como torre X | Plataforma Elevatória Pantográfica | Coluna com cremalheira, carro com pinhão | Fuso usinado acionado elétrico | Estilo X Guindaste |
| **Elevar as unhas do implemento florestal a ser** | Ponte rolante principal | Braço giratorio com talha elétrica X | ponte rolante móvel com talha | macaco com talha | |
| **Acoplar unhas ao corpo principal (inserir pinos)** | Bater pinos com marreta manual X | Colocar pinos de forma Hidráulica | | | |
| **Inclinar o implemento florestal em montagem a 90o** | Através de cilindro hidraúlico X | Engrenagens com motor elétrico | | | |
| **Elevar Cilindro Hidráulico** | Ponte rolante principal | Braço giratório com talha elétrica X | ponte rolante móvel com talha | macaco com talha | Manual |
| **Instalar Cilindro Hidráulico** | Bater pinos com marreta manual X | Colocar pinos de forma Hidráulica | | | |
| **Elevar Corpo do traçador** | Ponte rolante principal | Braço giratório com talha elétrica X | ponte rolante móvel com talha | macaco com talha | |
| **Acoplar traçador (Somente garras traçadora)** | Apertar parafusos com chaves manual | Parafusadeira Pneumática V X | | | |
| **Montar sistema de corte** | Manual X | | | | |
| **Desinclinar equipamento montado** | Através de cilindro hidraúlico X | Engrenagens com motor elétrico | | | |
| **Testar funções Hidráulicas** | acionada por controle X | Acionada por alavanca | | | |

Quadro 2. Matriz Morfológica das sub funções

Com base em sugestões coletadas de um amplo grupo de funcionários de vários setores da empresa estudada, atendimento da lista requisitos, aproveitamento de matéria prima e componentes disponíveis na fábrica, possibilidade de fabricação interna, conhecimentos sobre acionamentos hidráulicos, foi definido a aplicação das sub funções apontadas pela marcação verde e azul, gerando as variantes V1 (verde) e V2 (Azul).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste ponto do trabalho é apresentada uma avaliação para a concepção de projeto, que associa os critérios determinados na lista de requisitos, apresentada na fase de planejamento, com as opções encontradas como solução na matriz morfológica.

A variante V1 diferenciou da V2 somente na sub função “Elevar a cabeça do implemento florestal a ser montado”, e realmente parecia uma boa opção, porém, atendendo os vários requisitos, necessários e desejáveis, para cinemática, custos, energia, ergonomia, geometria e produção, no requisito operação, acredita-se que não reduzirá os danos a pintura e além disso pode existir riscos de acidentes, já que nesta opção o implemento deveria ser montado de ponta cabeça, sendo que sua cabeça principal seria içada até o equipamento por um dos olhais e as unhas (pinças) pelas pontas, e desta forma seriam gerados danos a pintura como no caso do sistema atual de montagem. A seguir é apresentada a Figura 4, referente a variante V1 para melhor entendimento, o implemento florestal e suas ´partes são representados nas cores preta e laranja, e o equipamento gerado na V1 é apresentado na cor verde.




Figura 4. Mesa de Montagem, conceito V1

A V2, apresentada na Figura 5, atendeu todas os requisitos de forma mais completa, assim como a V1 pode ser fabricada internamente, mas tem vantagens do ponto de vista ergonômico, já que tem um maior curso de subida e descida, e principalmente reduz de forma mais eficaz danos a pintura, e dependendo do cuidado do operador pode-se montar implementos sem danos, já que serão montados em sua posição de trabalho e transporte. Nesta concepção o equipamento é abaixado até o nível da furação existente na chamada "cabeça", que é então fixada por parafusos. Na V1 é necessária passar a cinta por pelos olhais, o que acaba marcando a pintura, e quando as chamadas "unhas" forem conectadas já estarão em sua posição final de trabalho, desse modo, se passa um pino em dois olhais e a cinta tocará somente no pino, sem marcar nenhuma superfície pintada. O implemento florestal é composto pelas peças laranjas e preta, o equipamento de montagem é apresentado na cor verde.

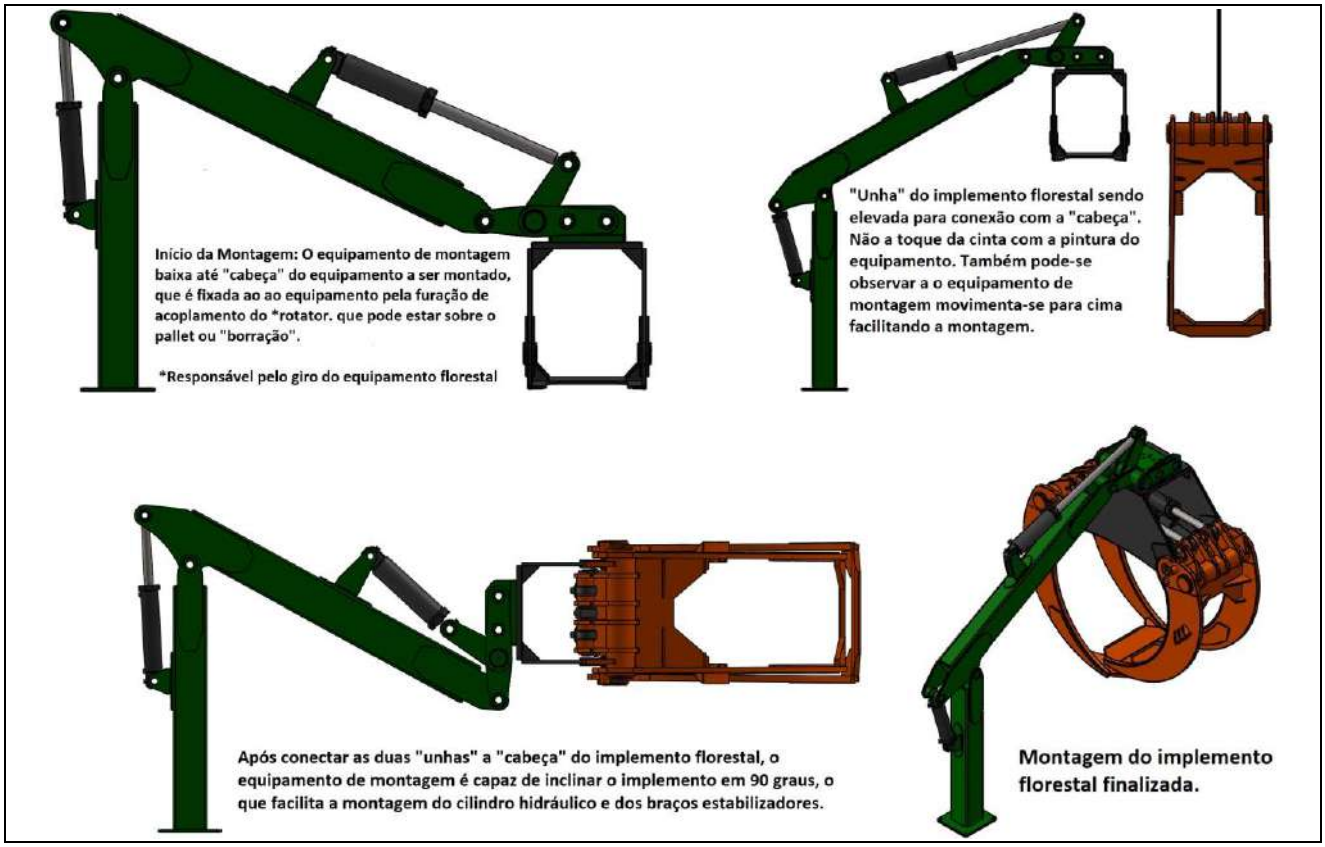



Figura 5. Conceito V2 do Equipamento em montagem de Garra Florestal

## 4. CONCLUSÕES

Aplicando o procedimento de desenvolvimento de produtos, ficou claro a eficiência do método, ele faz com que o processo seja rápido e reduz a possibilidade de erros, especialmente se observados os requisitos determinados na fase de planejamento, também é muito relevante que usuários sejam envolvidos no processo de concepção.

O conceito do equipamento o desenvolvido neste trabalho podemos afirmar, que os danos a pintura dos implementos florestais serão reduzidos, o técnico montador trabalhará em uma posição mais ergonômica e o risco de acidentes será reduzido.

Não é possível afirmar que o trabalho será mais rápido, porém há bons indícios que sim. Para que o trabalho seja realizado por somente um profissional será necessário o desenvolvimento de uma unidade hidráulica acionada por controle remoto.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Back, N., Ogliari, A., Dias A., da Silva, J. C., *Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem.* 1. ed. Barueri, Manole, 2008.

Baxter,. M. *Projeto de Produto. Guia Prático para o design de novos produtos*. 3. ed. São Paulo, Blucher, 2011.

Carvalho, R. M. M. A., Soares T. S. e Valverde, S. R., 2005. *Caracterização do Setor Florestal: Uma abordagem Comparativa com outros Setores da Econômia.* Ciência Florestal, v. 15, n. 1, p. 105-118.

Moreira, J. M. M. A., Simioni, F. J. e Oliveira E. B., 2017. *Importância e Desempenho das Florestas Plantadas no contexto do Agronegócio Brasileiro.* FLORESTA, v. 47, n. 1, p. 85 – 94.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusem, J. e Grote, K. H., *Projeto na Engenharia*. 6. ed. Editora Blucher, São Paulo, 2005.

Pasqualini, A., Sontag, D., Alexandrini, F., de Fáveri, J. E. Sezerino, V. C., 2012."Desenvolvimento de Sistema para Soldagem Automatizada de Roscas Transportadoras". In *SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia 2012*. Rezende, Brasil.

Rozenfeld, H. et al. *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo.* São Paulo: Saraiva, 2006.

Scur, A. R., Schneider E. L., Lorini F. J., 2013. *Aplicação do Design for Assembly (DfA) no Desenvolvimento do Projeto Conceitual de um Dispositivo Funcional.* Design & Tecnologia, v. 6, p. 43-51.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Elétrica:

# Automação e Controle

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CONTROLE APLICADO A UM PÊNDULO SIMPLES INVERTIDO

**Leandro Agostini**
**Cássio Luciano Baratieri**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim. Bairro Demoliner, Erechim, RS, 99704380.
leandroagostini.la@gmail.com, cassiobaratieri@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Este artigo apresenta a aplicação do controle ótimo a um pêndulo simples invertido, fundamentado no controle por realimentação de estados e no Linear Quadratic Regulator (LQR). O sistema dinâmico foi modelado matematicamente na representação em espaço de estados, a partir da mecânica Lagrangeana. Para o projeto do sistema, adotou-se a técnica de controle ótimo LQR com suporte do aplicativo Matlab. Um protótipo microcontrolado foi desenvolvido para embarcar o controle em tempo discreto. Assim, foram realizados testes em bancada para verificação da estabilidade e desempenho operacional do sistema. Por fim, constatou-se que o sistema de controle aplicado ao protótipo foi capaz de estabilizar a haste na posição de equilíbrio, requerendo alguns ajustes para compensar características não lineares e dinâmicas não modeladas do sistema proposto.*

***Palavras-chave:*** *Pêndulo invertido, controle ótimo, controle LQR, realimentação de estados.*

## 1. INTRODUÇÃO

O pêndulo invertido é um exemplo clássico de um sistema intrinsecamente instável em malha aberta, o qual é muito usado em controle automático, principalmente, para exemplificar cálculos no espaço de estados. Esse dispositivo eletromecânico engloba conhecimentos das áreas de eletrônica, instrumentação, programação, mecânica e controle de sistemas. Dessa forma, esse dispositivo tem sido aplicado à avaliação de desempenho de novos controladores na área de engenharia (Buzetti, *et al.*, 2012).

O sistema consiste em um carro que se movimenta por um trilho no eixo x, onde, no topo desse carro, está presente um eixo e nele fixada uma haste. O objetivo do controle é manter essa haste na posição vertical, ou seja, minimizar o ângulo presente entre a haste e o eixo y. Por outro lado, o carro se movimenta pelo trilho a fim de manter o pêndulo invertido na posição de equilíbrio, para que isso seja possível, deve-se aplicar uma força apropriada no eixo x.

Existem aplicações comerciais utilizando o modelo do pêndulo invertido simples, tais como o *SegWay* e a orientação de subida de um foguete espacial. O controle de trajetória do foguete precisa estar na posição vertical, sendo isso similar ao pêndulo simples (Ogata, 2010).

Tendo em vista o aspecto multidisciplinar do pêndulo invertido, este artigo apresenta o estudo do controle aplicado a um pêndulo simples invertido, baseando-se no modelo matemático linearizado em um ponto de operação e, utilizando o método de espaço de estados, controle LQR. Para evidenciar o desempenho operacional e de estabilidade, resultados experimentais serão apresentados e discutidos.

## 2. MODELAGEM MATEMÁTICA

O formalismo de Euler-Lagrange utiliza o princípio da mínima ação, algo muito útil quando se busca minimizar os esforços de um sistema. Então, quando a modelagem envolve mais graus de liberdade, é conveniente utilizar o método em questão. De acordo com Caetano (2017), essa abordagem permite uma forma distinta de resolver situações problema, porém equivalente. Sendo que, sua grande vantagem é a dispensabilidade do uso de vetores.

A Fig. 1 mostra a representação do pêndulo invertido sobre um carro. Esse modelo foi utilizado na modelagem matemática, a fim de obter as equações dinâmicas.

A equação de Euler-Lagrange é composta de derivadas parciais do Lagrangeano em função dos graus de liberdade, ou seja, das variáveis que regem o comportamento dinâmico da planta. Para isso, inicialmente, deve-se calcular algebricamente a energia potencial e a energia cinética. Com posse disso, é possível encontrar o Lagrangeano diminuindo uma pela outra. A equação de Euler-Lagrange é expressa por:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right)-\left(\frac{\partial L}{\partial q_i}\right)=Q_i \cdot \tag{1}$$

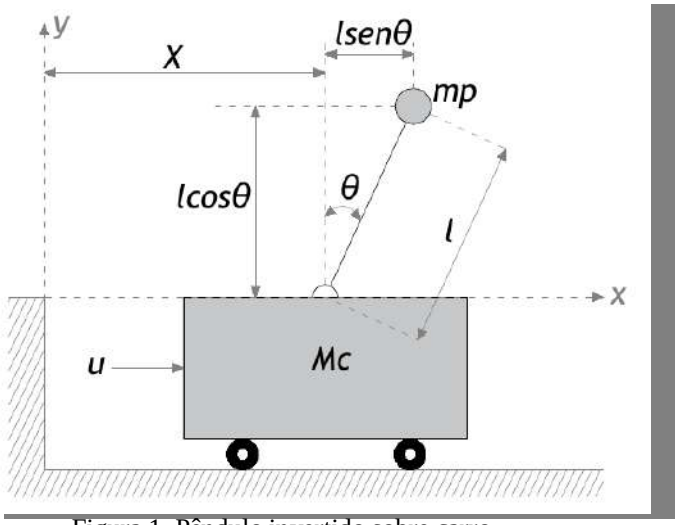



Figura 1. Pêndulo invertido sobre carro.

A energia potencial é a energia armazenada pela haste quando é excitada pelo sistema, ou ainda, quando ela está na posição vertical, então:

$$E_p = m_p g l \cos(\theta) \cdot \tag{2}$$

Conforme essa posição varia, o ângulo também sofre variação e, por consequência, o sistema todo varia nos dois eixos (x,y). As componentes de posição nos eixos x e y do sistema, respectivamente, são expressas por:

$$E_x = lsen(\theta) + x \cdot \tag{3}$$

$$E_y = -l\cos(\theta) \cdot \tag{4}$$

A equação da energia cinética é o somatório da massa da i-ésima partícula do sistema multiplicada pela velocidade da i-ésima partícula ao quadrado, tudo dividido por dois. No caso do pêndulo invertido, a i-ésima partícula é a massa presente na extremidade do pêndulo, então:

$$E_c = \frac{1}{2}\left[M_c \dot{x}^2 + m_p\left(\dot{E}_x^2 + \dot{E}_x^2\right)\right] \cdot \tag{5}$$

Derivando as Eq. (3) e (4), posteriormente, elevando a derivada ao quadrado e substituindo em (5), resulta em:

$$E_c = \frac{1}{2}\left[M_c \dot{x}^2 + m_p\left(\dot{\theta}^2 l^2 + \dot{x}^2 + 2\dot{x}\dot{\theta} l\cos(\theta)\right)\right] \cdot \tag{6}$$

O Lagrangeano é a subtração da energia cinética total pela energia potencial, então:

$$L = \frac{M_c \dot{x}^2}{2} + \frac{m_p \dot{\theta}^2 l^2}{2} + \frac{m_p \dot{x}^2}{2} + m_p \dot{x}\dot{\theta} l\cos(\theta) - m_p.g.l.\cos(\theta) \tag{7}$$

O movimento pode ser descrito pela trajetória de θ e x, a partir disso surgem duas equações, uma para cada variável, logo:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) - \left(\frac{\partial L}{\partial \theta}\right) = 0\,, \tag{8}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) - \left(\frac{\partial L}{\partial x}\right) = u \cdot \tag{9}$$

Substituindo a Eq. (7) nas Eq.(8) e (9), e resolvendo as derivadas, resulta em:

$$M_c + m_p \ \ddot{x} + m_p l \ \ddot{\theta}\cos(\theta) - \dot{\theta}^2 sen(\theta) \ = u\,, \tag{10}$$

$$m_p l^2 \ddot{\theta} + m_p l \ddot{x}\cos(\theta) - m_p g l sen(\theta) = 0 \tag{11}$$

Resolvendo o sistema e isolando $\ddot{\theta}$ e $\ddot{x}$, obtém-se:

$$\ddot{\theta} = \frac{m_p l sen(\theta)\cos(\theta)\dot{\theta}^2 - \ M_c + m_p \ g sen(\theta) + u\cos(\theta)}{m_p l\cos^2(\theta) - l \ M_c + m_p}\,, \tag{12}$$

$$\ddot{x} = \frac{m_p l sen(\theta)\dot{\theta}^2 - m_p g sen(\theta)\cos(\theta) + u}{M_c + m_p \ - m_p\cos^2(\theta)}\,. \tag{13}$$

Reduzindo a ordem da equação, logo:

$$f_1 = \dot{\theta} = x_2\,, \tag{14}$$

$$f_2 = \ddot{\theta} = \frac{m_p l sen(x_1)\cos(x_1){x_2}^2 - \ M_c + m_p \ g sen(x_1) + u\cos(x_1)}{m_p l\cos^2(x_1) - l \ M_c + m_p}\,, \tag{15}$$

$$f_3 = \dot{x} = x_4\,, \tag{16}$$

$$f_4 = \ddot{x} = \frac{m_p l sen(x_1){x_2}^2 - m_p g sen(x_1)\cos(x_1) + u}{M_c + m_p \ - m_p\cos^2(x_1)}\,. \tag{17}$$

### 2.1 Linearização

A matriz jacobiana é dada por:

$$Jx(x_0,u_0) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} & \frac{\partial f_1}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} & \frac{\partial f_2}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} & \frac{\partial f_3}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_4}{\partial x_1} & \frac{\partial f_4}{\partial x_2} & \frac{\partial f_4}{\partial x_3} & \frac{\partial f_4}{\partial x_4} \end{bmatrix}, \tag{18}$$

$$Ju(x_0,u_0) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u} \\ \frac{\partial f_3}{\partial u} \\ \frac{\partial f_4}{\partial u} \end{bmatrix}. \tag{19}$$

A equação em espaço de estados é expressa por:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)\,. \tag{20}$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)\,. \tag{21}$$

Resolvendo a Eq. (18) e a Eq.(19), e substituindo na Eq.(20), resulta em:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \dfrac{(M_c + m_p)}{(M_c)l} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\dfrac{(m_p g)}{M_c} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ -\dfrac{1}{(M_c)l} \\ 0 \\ \dfrac{1}{M_c} \end{bmatrix} u(t)\,, \tag{22}$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x(t)\,, \tag{23}$$

Os parâmetros do sistema real obtido por intermédio de medições experimentais têm os valores de $M_c = 0{,}920Kg$, $m_p = 0{,}100Kg$, $l = 0{,}288m$ e para aceleração da gravidade considerou-se $g = 9{,}8\,{}^{m}\!/_{s^2}$, substituindo esses valores na Eq.(22), obtém-se:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 37{,}726 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1{,}065 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ -3{,}774 \\ 0 \\ 1{,}087 \end{bmatrix} u(t)\,. \tag{24}$$

### 2.2 Controle LQR em tempo contínuo

Em um primeiro momento, devem-se definir quais ou qual variável de controle terá maior prioridade e com isso calcular os ganhos de realimentação que irão maximizar o desempenho da variável definida *a priori*.

Para calcular os ganhos de realimentação **K** é necessário que o sistema de controle esteja em malha fechada, então:

$$\dot{x}(t) = x(t)[A - BK]\,, \tag{25}$$

sendo a Eq. (25) oriundo da lei de controle:

$$u(t) = -Kx(t)\,, \tag{26}$$

onde **K** é o vetor de controle ótimo obtido da minimização da função custo, dada por:

$$J = \int (x(t)^T Q_x x(t) + u(t)^T R u(t))dt\,. \tag{27}$$

O vetor de ganho **K** do regulador quadrático linear é determinado por:

$$K = R^{-1}B^T P\,. \tag{28}$$

A matriz P é obtida mediante resolução da equação algébrica de *Ricatti*, logo:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0\,, \tag{29}$$

A matriz **Q** é responsável pelos pesos dos estados, ou seja, faz uma ponderação baseada na relevância de cada estado dentro do sistema. A matriz R é um escalar e define qual o peso do controle. Ambas são atribuídas, entretanto é possível utilizar um paradigma, a regra de *Brysson*, logo:

$$Q_{ij} = \frac{1}{\max(x_i)^2}\,, \tag{30}$$

$$R = \frac{1}{\max(u)^2}\,. \tag{31}$$

Resolvendo as Eq. (30) e Eq. (31), e utilizando os máximos valores para cada variável de estado bem como para a entrada de controle, resulta em:

$$Q = \begin{bmatrix} 350,0000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0294 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,9384 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 12,3288 \end{bmatrix}. \tag{32}$$

Inicialmente foi atribuído o valor unitário para R. Devido à complexidade da resolução da equação algébrica de Ricatti, foi utilizada a função *lqr(A, B, Q, R)* do *software Matlab*. Assim, determinou-se os seguintes ganhos:

$$K = \begin{bmatrix} -45,4966 & -6,9249 & -2.2223 & -6,3904 \end{bmatrix}. \tag{33}$$

### 2.3 Controle LQR em tempo discreto e lei de controle

A fim de obter os ganhos do controlador discreto foi usado o comando *lqrd(A,B,Q,R,Ts)* do aplicativo *Matlab*, sendo *Ts* o período de amostragem definido como 0,002s, em virtude da frequência de amostragem ser de 500Hz à discretização da planta. Para que se possa discretizar o controlador é necessário que anteriormente o projeto do controlador contínuo apresente os resultados desejados, pois os valores das matrizes R e **Q** serão os mesmos. Além disso, são inseridos os valores das matrizes de estado contínuas **A** e **B** ao comando, para que seja feita a discretização.

O algoritmo do programa inicialmente discretiza a planta pelo método ZOH utilizando internamente o comando *c2d* e obtendo as matrizes $\boldsymbol{\phi}$ e $\boldsymbol{\gamma}$, referentes às matrizes **A** e **B**, respectivamente. Posteriormente são encontrados os ganhos da planta discretizada com o comando *dlqr*, os ganhos em tempo discreto são:

$$K = \begin{bmatrix} -44,8837 & -6,8383 & -2,1800 & -6,2711 \end{bmatrix}, \tag{34}$$

Para realizar a aplicação do controle na planta real, foi necessário determinar as equações que relacionem a entrada *u[n]* com a entrada de tensão do motor CC.

A lei de controle relaciona a força aplicada na entrada com os ganhos e os estados. Assim, a entrada u*[n]* = **-*Kx****[n]* é uma força fornecida pelo motor CC. Portanto, é importante conhecer as equações que regem o comportamento do motor, a fim de calcular a força. Neste sentido, o torque eletromagnético do motor pode ser expresso por:

$$\tau = K_m \left( \frac{V - E}{R_a} \right). \tag{35}$$

O torque também pode ser representado pela distância entre o ponto onde será aplicada a força e o ponto de rotação (pivô) multiplicado pela força aplicada, representado na forma:

$$F = \frac{\tau}{r}. \tag{36}$$

A tensão induzida do motor CC pode ser expressa por:

$$E = \frac{K_m \dot{x}}{r}. \tag{37}$$

Substituindo a Eq. (37) na Eq. (35) e o resultado substituindo na Eq. (36) e, posteriormente, substituindo na Eq. (26), resulta em:

$$V_m[n] = \frac{rR_a}{K_m} \ -K_1\theta[n] - K_2\dot{\theta}[n] - K_3 x[n] \ + \dot{x}[n]\left( \frac{-K_4 r R_a}{K_m} + \frac{K_m}{r} \right). \tag{38}$$

Sendo $V_m[n]$ normalizado e aplicado ao motor como um sinal de *PWM (Pulse Width Modulation)*.

## 3. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Os componentes utilizados no projeto devem ser comerciais para que possa ser construído o protótipo, principalmente o conjunto cremalheira e pinhão, sendo que estes devem ter o mesmo módulo e preferencialmente o mesmo material para que possa ser feito o encaixe correto e evite desgastes. A Fig. 2 mostra o protótipo e a identificação de seus componentes. Os parâmetros reais do sistema pêndulo invertido, que foram utilizados no projeto do controlador, estão presentes na Tab. 1.

Devido ao movimento bidirecional realizado pelo motor durante o controle do sistema, deve-se desenvolver algum método para inversão de rotação do motor. Com o objetivo de facilitar a implementação foi utilizado o módulo driver ponte H *IBT2* que é um *shield* da plataforma *Arduino*.

A plataforma de prototipagem eletrônica escolhida foi o *Arduino Mega 2560*, devido ao seu baixo custo e sua linguagem de alto nível, onde realizou-se a programação do controle discreto e as leituras dos sensores. O *Arduino Mega 2560* possui 12 saídas PWM e 32 portas digitais que podem ser usadas como entradas ou saídas.

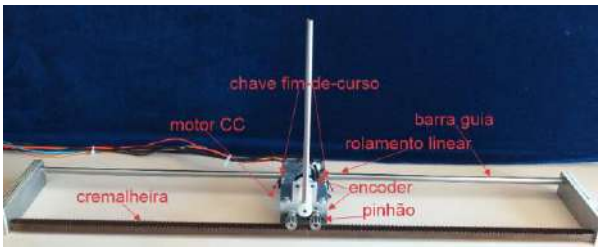



Figura 2. Protótipo pêndulo invertido.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Brito (2009), a validação deve avaliar a relação entre os resultados obtidos na simulação e as questões que o método se propõe a responder. Para simular a planta controlada foi utilizado o *software Matlab* e sua função *initial(sys,x0,t)*, também, foi usado os ganhos de controle LQR apresentados em (33) e os ganhos do controlador discreto dado por (34). As formas de onda representam um comparativo entre os resultados obtidos mediante controle no tempo discreto e controle no tempo continuo. Os resultados da simulação são apresentadas na Fig. 3.

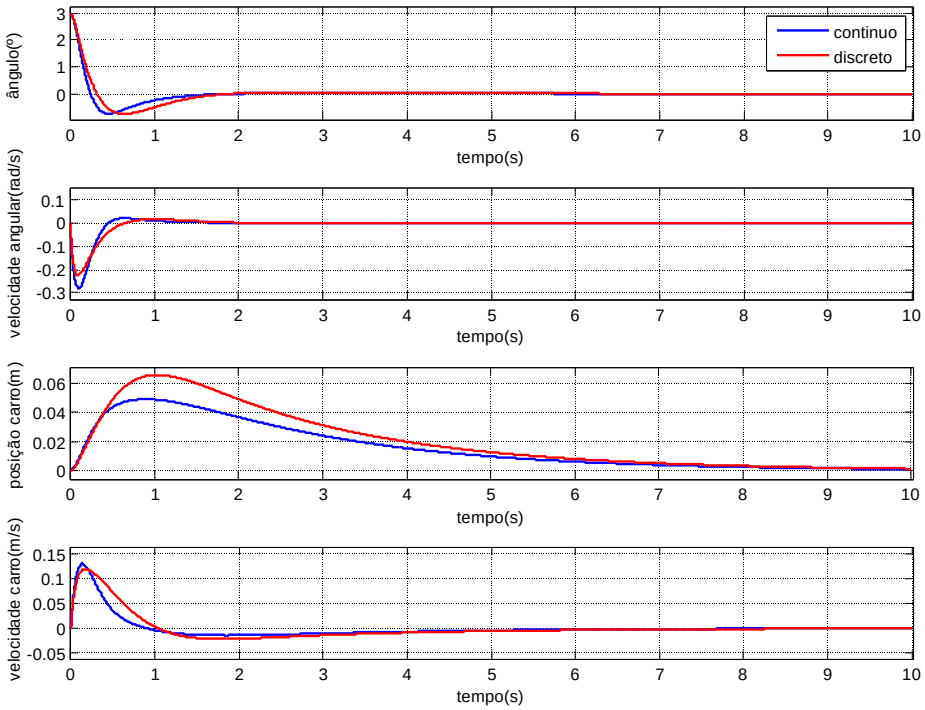



Figura 3. Validação do controle, comparativo contínuo/discreto.

Tabela 1. Parâmetros do sistema pêndulo invertido.

| Símbolo | Parâmetro | Valor |
|---|---|---|
| $M_c$ | Massa do carro [*Kg*] | 0,9200 |
| $m_p$ | Massa do pêndulo [*Kg*] | 0,1000 |
| $l$ | Comprimento da haste [*m*] | 0,2880 |
| $g$ | Aceleração da gravidade [*m/s²*] | 9,8001 |
| $r$ | Raio entre o pivô e o diâmetro primitivo da engrenagem [*m*] | 0,0085 |
| $R_a$ | Resistência de armadura do motor [Ω] | 1,7400 |
| $K_m$ | Constante do motor [*Nm/A*] | 0,1343 |
| *n* | Redução do motor | 26 |

Os resultados experimentais adotaram o protótipo montado em bancada, mostrado na Fig. 2. Para obtenção do gráfico do ângulo da haste e da posição linear do carro, foi utilizado o comando *Serial.print* do *Arduino.* O gráfico referente ao sistema pêndulo invertido experimental é mostrado na Fig. 4. Esse resultado evidencia que a haste permanece na posição entorno de 0º, enquanto que a posição do carro apresenta um pequeno erro de rastreamento. O erro é proveniente da técnica de controle de realimentação de estados, pois não há um integrador na malha. Essa ausência acarreta em um erro no rastreamento em regime permanente para referências constantes.

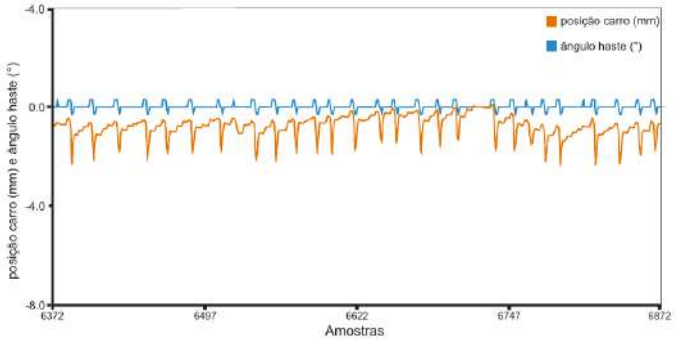



Figura 4. Resultado experimental.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme observado na Fig. 4, a variação no ângulo da haste é mínima, aproximadamente 0,3°. Além disso, a posição angular manteve-se próximo a 2 mm, ou seja, muito próximo do centro da cremalheira. Logo, pode-se afirmar que o resultado é satisfatório, pois cumpre com as premissas da estabilidade do sistema.

Os resultados experimentais a partir do protótipo validaram a abordagem proposta. Alguns ajustes foram necessários para estabelecer algumas compensações de atraso de transporte proveniente do motor CC. Observou-se que é possível controlar a haste na posição vertical, entretanto, se faz necessários aprimoramentos no atuador com relação ao eixo x.

## 6. REFERÊNCIAS

Abreu, P.; Lopes, A.M. "Robótica Industrial Fundamentos da Robótica Aspectos Tecnológicos da Robótica". Porto, Portugal: [s.n], 2003.

Buzetti, A.S. et *al.* "Projeto e Implementação do Sistema de Controle de um Pêndulo Invertido Utilizando o Método do Lugar das Raízes". Em *anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática*, p. 3288-94, 2012.

Caetano, E.C. "Aplicações das equações de Euler-Lagrange", Brasília, p.14, 2017.

Golnaraghi, F. & Kuo, B.C. "Automatic Control Systems", 9th edition, Wiley, 2009

Ogata, K. "Discrete-time Control Systems". 2°.ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 1987.

Ogata, K. ."Engenharia de controle Moderno". 5°.ed. São Paulo: Pearson Pretence Hall, 2010.

Prasad, L.B.; Tyagi.; Gupta, H. O. "Optimal control of nonlinear inverted pendulum system using PID controller and LQR: Performance analysis without and with disturbance". *Int. Journal of Automation and Computing. Dec. 2014*

Quanser. Linear servo control lab a modular lab for teaching of controls, robotics and mechatronics, 2013. 20p.

Sukontanakarn, V.; Parnichkun, M. "Real-Time Optimal Control for Rotary Inverted Pendulum". *American Journal of Applied Sciences, n. June, 2009.*

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CONTROLE ESCALAR PARA O MOTOR BLDC E O MOTOR DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL COMUTADO APLICADOS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

**Leonardo Salvi**
**Cássio Luciano Baratieri**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI-Erechim, 331, KM 2, Bairro Demoliner, Erechim, RS.
leonardo.jassa@gmail.com, cassiobaratieri@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Este artigo apresenta a comparação do desempenho operacional entre o motor Brushless DC (BLDC) e Motor de Relutância Variável (MRV), tendo como foco a utilização em veículos elétricos. Para que isso fosse possível foram caracterizados os requisitos operacionais de ambos, empregando o método de Máximo Torque por Ampére (MTPA) e de Enfraquecimento de Campo (EC), regiões de operação fundamentais no contexto do veículo elétrico. Os resultados foram obtidos por meio de simulações por intermédio do software PSIM® e expressos no sistema Por Unidade (pu), visando uma comparação equitativa. Logo, verificou-se que em termos gerais, ambas as máquinas podem ser utilizadas ao veículo elétrico na questão de entrega de potência. Apesar disso, o motor BLDC propicia um desempenho superior ao MRV em termos da redução de ondulações de torque eletromagnético.*

***Palavras-chave:*** *Veículo elétrico, motor BLDC, Motor de relutância variável, MTPA, Enfraquecimento de Campo.*

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da preocupação em relação aos impactos ambientais e a limitação das reservas petrolíferas conhecidas, os Veículos Elétricos (VE) voltaram a ser foco de pesquisas por fabricantes de renome como BMW e GM. Neste mesmo sentido, a Tesla tem proporcionado à popularização deste tipo de veículo no mundo inteiro, direcionando o VE para o futuro do transporte.

Em geral, um dos principais componentes do VE é o sistema elétrico de propulsão, constituído de motor elétrico, bateria(s), conversor(s) estático(s) e sistema de controle (Chau, 2015). Entre esses elementos básicos, destaca-se o motor elétrico, pois as definições do sistema de controle e do conversor de acionamento dependem do tipo de motor. Conforme Kumar (2014), diversos motores podem ser adotados: Motor de Indução (MI), Motor CC, Motor Brushless DC (BLDC), Motor Síncrono de Ímã Permanente (MSIP) e Motor de Relutância Variável (MRV). Em virtude das diversas características operacionais de cada motor, cada empresa do setor automobilístico define um ou mais tipo de motor, ou seja, não existe um consenso único na escolha do motor e do método de acionamento e controle. Em termos gerais, o motor com ímãs permanentes exibe vantagens em relação aos demais motores, entretanto a China detém a maior parte das reservas de terras raras, impondo restrições ao mercado. Nesse contexto, surgem diversas oportunidades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para propiciar diretrizes na escolha de uma alternativa viável.

Este trabalho tem como intuito comparar dois modelos construtivos, o motor BLDC e o MRV, especificamente, o Motor de Relutância Variável Comutado (MRVC), avaliando os mesmos de maneira equitativa. Desta forma, serão apresentados e discutidos os resultados comparativos dos motores. Além disso, serão apresentadas as formas de ondas provenientes das simulações de ambos os motores, utilizando o aplicativo PSIM®. Por fim, serão discutidos os resultados dessas simulações no contexto do VE.

## 2. METODOLOGIA

Segundo Kumar (2014), um motor elétrico veicular deve possuir uma elevada relação entre velocidade e 9torque. Tendo isso como fundamento e baseando-se nas metodologias de Miller (1989), Humiston e Pillay (2002), Xia (2012) e Chau (2015), neste trabalho, as técnicas de MTPA e EC foram aplicadas e comparadas de modo computacional.

Em geral, as técnicas de acionamento e controle permitem tais modos de operação e uma vantagem em relação aos motores de indução e síncronos de ímãs permanentes (Brushless AC): o controle de acionamento escalar, ou seja, um método de controle de baixa complexidade, ao contrário do controle vetorial.

Por ser difícil encontrar dois tipos de motores, especificamente para VEs, de mesma potência e montados em metodologias tão distintas, como as utilizadas neste trabalho, os resultados das simulações foram transformados para o sistema por unidade (pu), tornando a comparação entre eles uma tarefa mais simples e equitativa.

As simulações foram realizadas no aplicativo Psim, fundanentando-se nos procedimentos metodológicos apresentados em Boaretto(2017) e Conti(2018). As Fig. 1 e 2 mostram a estrutura de acionamento e controle do motor BLDC e MRVC.

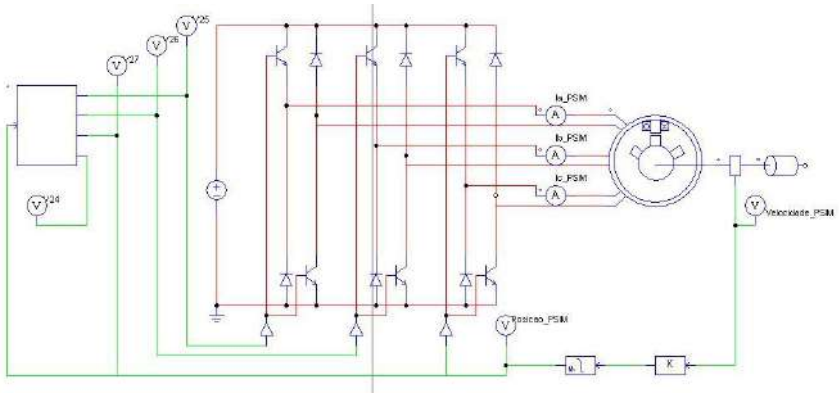



Figura 1. Circuito de simulação para o motor MRVC.

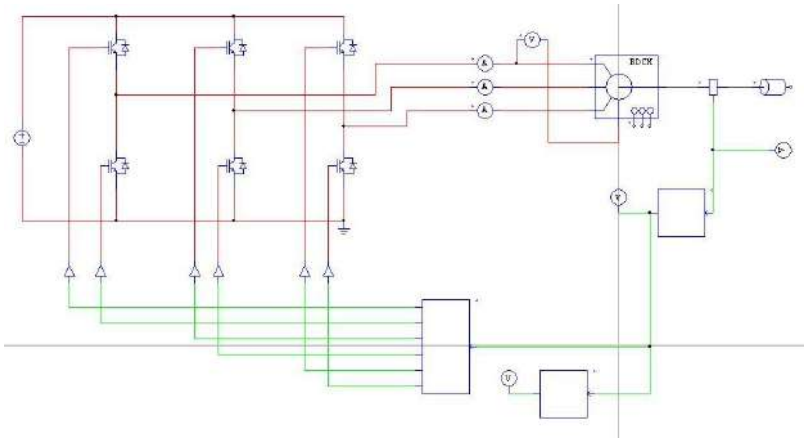



Figura 2. Circuito de simulação para o motor BLDC.

### 2.1 Enfraquecimento de Campo

O EC permite o VE atingir velocidades de rotação do motor elevadas, que é um requisito na maior parte do tempo na operação dos motores.

Na região de EC, se quer uma potência aproximadamente constante na saída, para uma mesma tensão. Essa é mantida constante, enquanto que o torque, o ângulo de acionamento (BLDC) e o ângulo de disparo e extinção (MRVC) são reduzidos, o que leva a uma redução do torque, da corrente e, principalmente, o aumento de velocidade de rotação nos motores.

No caso do motor BLDC, o EC é sintetizado por intermédio da defasagem do acionamento das fases do motor, enquanto que no MRVC, como mencionado, os ângulos de disparo e extinção são modificados conforme a equação de torque eletromagnético da máquina (Humiston, Pillay; 2002).

### 2.2 Máximo Torque por Ampére

O MTPA permite uma partida rápida e aceleração adequada em arrancadas e subidas onde se exige mais tração do motor. O regime de operação do MTPA se dá quando, em uma determinada velocidade e torque, o ângulo de acionamento é ajustado para que a magnitude ou valor RMS da corrente no estator seja minimizada (Tichenor, 1998).

Para o MTPA é mantido o torque de forma constante e se eleva a tensão aplicada ao motor. Isso resultará num aumento da potência de saída, para esse regime de operação o ângulo de acionamento da corrente também é mantido constante.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações computacionais foram realizadas no aplicativo PSIM, utilizando o controle escalar clássico do motor BLDC e do MRVC, conforme Kumar e Jain (2014).

### 3.1 Resultados de Simulação do MRVC

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos nas simulações com o MRVC. Duas abordagens foram realizadas. Na primeira abordagem adotou-se a simulação para obter uma curva característica do torque eletromagnético *versus* velocidade de rotação, bem como a corrente de fase e a potência de saída. Na segunda, obteve-se o comportamento operacional no domínio do tempo. Nas simulações foram negligenciadas as perdas rotacionais adicionais e magnéticas.

A Tab. 1 apresenta as características construtivas do MRVC utilizado durante as simulações para este trabalho.

Tabela 1. Características construtivas MRVC.

| | |
|---|---|
| Resistencia(Ω) | 2.5 |
| Indutância(L) | 0.005 |
| Indutância Mutua(H) | -0.06 |
| Nº de polos estator | 6 |
| Nº de polos do rotor | 4 |
| Momento de inércia(J) | 0.0000179 |

A Tab. 2 evidencia os valores médios ou RMS obtidos em simulação. Os dados com fundo branco representam a região de MTPA, enquanto que o fundo cinza a região de EC.

Os resultados demonstram que alterando os ângulos de disparo e extinção é possível manter a tensão do barramento CC e aumentar a velocidade de rotação, requisito indispensável na operação do MRVC em VEs.

Tabela 2. Resultados de simulação do MRV.

| Velocidade (RPM) | Velocidade (PU) | Tensão CC (V) | Corrente RMS (A) | Torque Eletr. (Nm) | Torque Eletr. (PU) | Potência Saída (W) | Ângulo Disparo/Extinção (graus) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1085,5 | 0,472 | 180 | 9,2 | 10 | 1,0 | 1136,1 | 30/60 |
| 1186,8 | 0,516 | 195 | 9,3 | 10 | 1,0 | 1242,2 | 30/60 |
| 1498,9 | 0,652 | 250 | 9,5 | 10 | 1,0 | 1562,4 | 30/60 |
| 1649,2 | 0,717 | 300 | 9,7 | 10 | 1,0 | 1712,8 | 30/60 |
| 2297,0 | 1,000 | 350 | 9,3 | 10 | 1,0 | 2403,8 | 30/60 |
| 2626,0 | 1,143 | 350 | 8,9 | 9 | 0,9 | 2472,2 | 29/59 |
| 2967,2 | 1,291 | 350 | 8,5 | 8 | 0,8 | 2480,7 | 28/58 |
| 3355,6 | 1,460 | 350 | 8,1 | 7 | 0,7 | 2457,4 | 27/57 |
| 3816,8 | 1,661 | 350 | 7,6 | 6 | 0,6 | 2394,1 | 26/56 |
| 4385,8 | 1,909 | 350 | 7,0 | 5 | 0,5 | 2290,7 | 25/55 |
| 5156,0 | 2,244 | 350 | 6,4 | 4 | 0,4 | 2159,5 | 24/54 |
| 6230,9 | 2,712 | 350 | 5,7 | 3 | 0,3 | 1963,3 | 23/53 |
| 8038,2 | 3,499 | 350 | 4,8 | 2 | 0,2 | 1699,0 | 22/52 |

As Fig. 3 a 6 mostram as formas de onda do regime operacional de partida e permanente na região de MTPA e EC. Por outro lado, o Gráf. 1 revela o comportamento do MRVC na região de MTPA e EC.

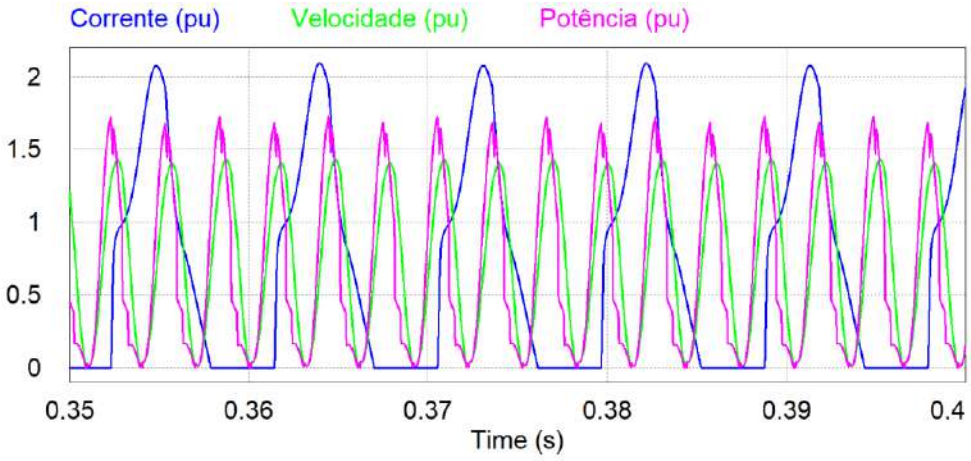



Figura 3. Formas de onda motor MRVC em pu na região de MTPA.

Na Figura 3 temos as formas de onda de corrente, potência e velocidade do MRVC em pu tendo como velocidade de base 1649,2 rpm (região de MTPA). Valores obtidos foram: 1,008 em RMS para a corrente, 0,697, 0,727, 0,705 de valores médios para corrente, velocidade e potência.

As Fig. 3 a 6 revelam o comportamento dinâmico típico do MRVC, ou seja, as oscilações de corrente e de potência, podendo inferir que o torque eletromagnético também será pulsante. Essas ondulações típicas, provenientes das comutações entre as fases do motor devido à variação de relutância, são usualmente indesejáveis, pois acarretam em vibração mecânica e ruído acústico. Com relação aos modos de operação, nota-se que a região de EC favorece a operação do motor, tendo em vista o aumento da frequência das componentes harmônicas presente na potência, o que reflete na redução das ondulações de velocidade de rotação (*vide* Fig. 5). Não há uma diferença significativa na partida como mostra a Fig. 4 e 6.

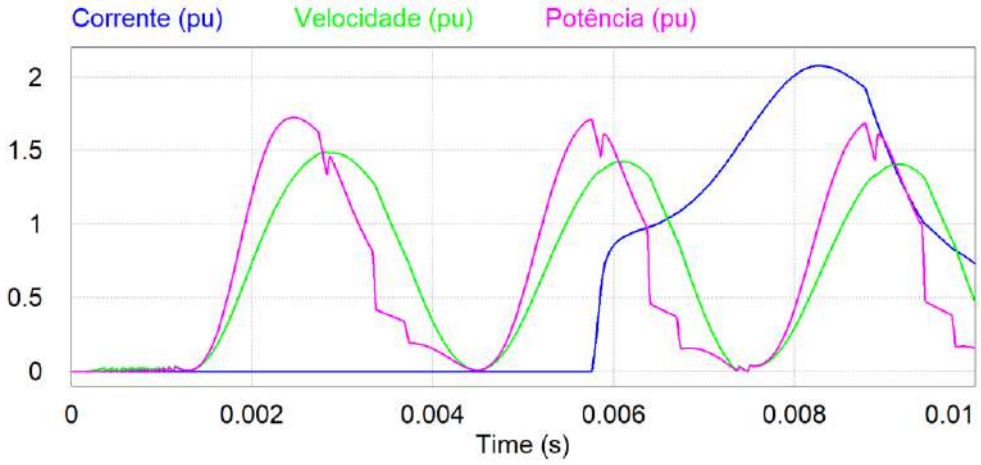



Figura 4. Formas de onda motor MRVC em pu durante partida em MTPA.

Formas de onda de corrente, potência e velocidade do motor MRV em pu da Figura 4 em que a velocidade base é 1649,2 rpm durante partida (região de MTPA). Valores obtidos foram: 1,008 em RMS para a corrente, 0,697, 0,727, 0,705 de valores médios para corrente, velocidade e potência

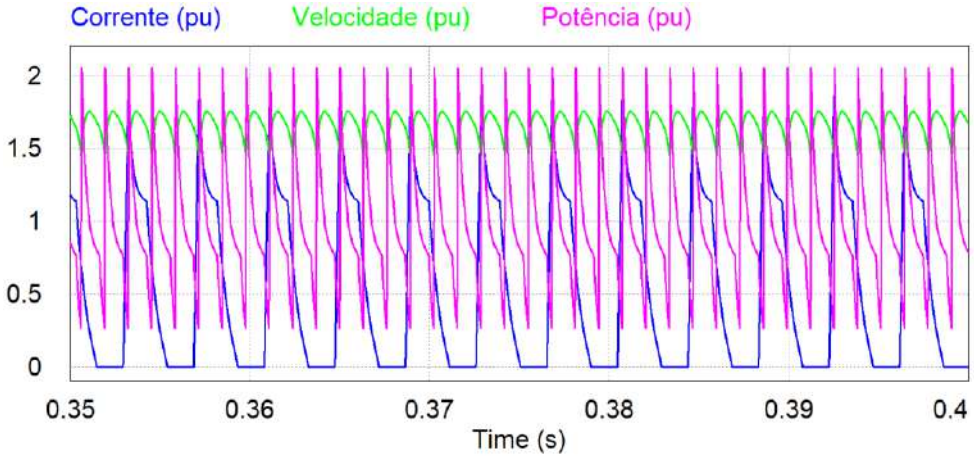



Figura 5. Formas de onda motor MRVC em pu na região de EC.

A Figura 5 mostra as formas de onda de corrente, potência e velocidade do motor MRVC em pu para a velocidade base 3816,8 (região de EC). Valores obtidos foram: 0,6925 em RMS para a corrente, 0,4196, 1,4281, 0,8717 de valores médios para corrente, velocidade e potência.

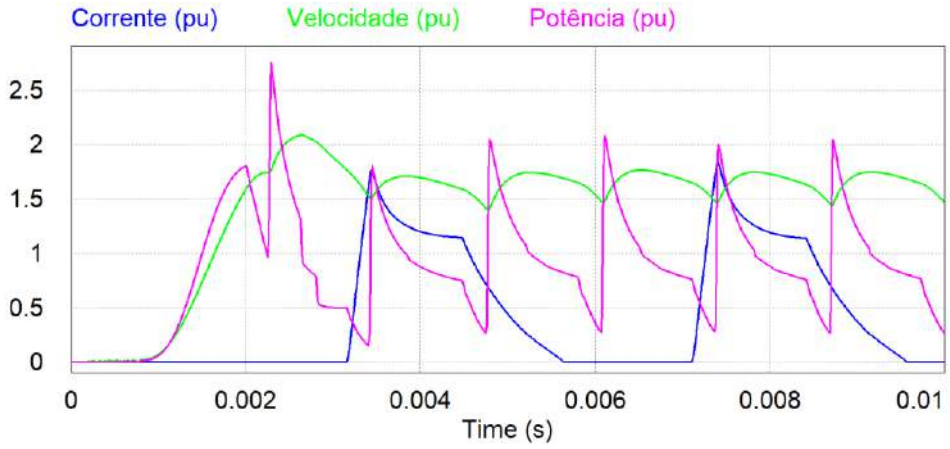



Figura 6. Formas de onda motor MRVC em pu durante partida EC.

Na Figura 6 as formas de onda motor MRVC em pu para a velocidade base 3816,8 durante partida (região de EC). Valores obtidos foram: 0,7781 em RMS para a corrente, 0,5244, 1,6618, 0,9645 de valores médios para corrente, velocidade e potência.

### 3.2 Resultados de Simulação do Motor BLDC

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos nas simulações com o motor BLDC, de forma análoga ao MRVC. Entretanto, na Tab. 4, a região de MTPA (fundo branco) e a região de EC (fundo cinza) são obtidas com o ângulo de defasagem no acionamento da corrente em relação à força contraeletromotriz do motor BLDC.

Na Tabela 3 se tem as caraterísticas construtivas do motor BLDC utilizado para as simulações.

Tabela 3. Características construtivas BLDC.

| | |
|---|---|
| Resistencia(Ω) | 4.8 |
| Indutância(L) | 0.015 |
| Indutância Mutua(H) | -0.006 |
| Nº de polos | 4 |
| Momento de inércia(J) | 0.000870525 |

A tensão do barramento CC é padronizada com relação ao MRVC, assim como a variação do torque eletromagnético.

A Tab. 4 revela o comportamento esperado, ou seja, quando o motor atinge a sua velocidade nominal com o máximo do barramento CC (limite do MTPA), se faz necessário o enfraquecimento de campo para permitir o aumento da velocidade. Evidentemente que ocorre também a redução da potência possível, visto que o balanço energético deve ser mantido.

Tabela 4. Resultado de simulação do BLDC.

| Velocidade (RPM) | Velocidade (PU) | Tensão CC (V) | Corrente RMS (A) | Torque Eletr. (Nm) | Torque Eletr. (PU) | Potência Saída (W) | Ângulo Defasagem (graus) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 299 | 0,196 | 180 | 12,2 | 10 | 1 | 314,4 | 0 |
| 415,3 | 0,272 | 195 | 12,6 | 10 | 1 | 436,1 | 0 |
| 821,8 | 0,538 | 250 | 12,2 | 10 | 1 | 864,8 | 0 |
| 1177,3 | 0,771 | 300 | 12,2 | 10 | 1 | 1240,8 | 0 |
| 1525,1 | 1 | 350 | 12,4 | 10 | 1 | 1611,7 | 0 |
| 1694,1 | 1,110 | 350 | 11,3 | 9 | 0,9 | 1614,2 | -1 |
| 1878,8 | 1,231 | 350 | 10,1 | 8 | 0,8 | 1597,1 | -2 |
| 2084,4 | 1,366 | 350 | 8,8 | 7 | 0,7 | 1555,6 | -3 |
| 2311,6 | 1,515 | 350 | 6,5 | 6 | 0,6 | 1487,2 | -4 |
| 2565,1 | 1,681 | 350 | 6,4 | 5 | 0,5 | 1383,6 | -5 |
| 2851 | 1,869 | 350 | 5,2 | 4 | 0,4 | 1245,8 | -6 |
| 3177,7 | 2,083 | 350 | 4 | 3 | 0,3 | 1063,8 | -7 |
| 3559,4 | 2,333 | 350 | 2,8 | 2 | 0,2 | 825,5 | -8 |

As Fig. 7 a 10 mostram as formas de onda do regime operacional de partida e permanente na região de MTPA e EC para o motor BLDC. As formas de onda revelam a comutação entre fases, ou seja, durante um período de tempo a fase não conduz corrente, comportamento clássico do acionamento *six-step* 120°. Além disso, a comutação entre fases produz as ondulações na potência e, consequentemente, no torque eletromagnético. Como as ondulações possuem uma magnitude reduzida, a influência não é refletida na velocidade de rotação mecânica. As ondulações usualmente são refletidas no sistema mecânico quando o motor possui uma baixa inércia.

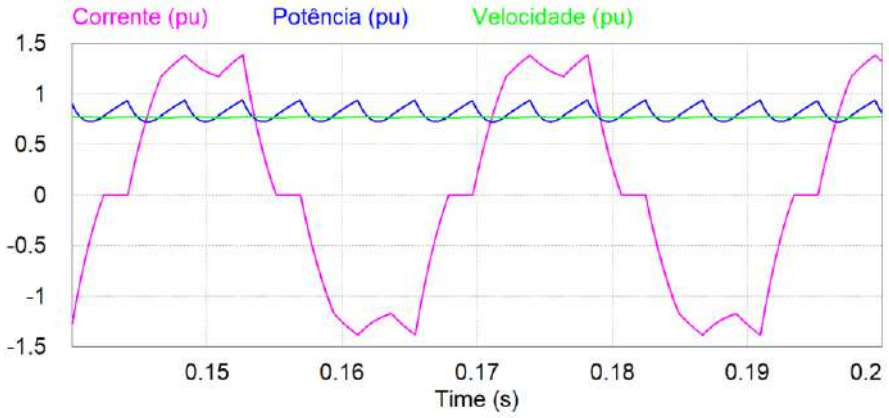



Figura 7. Formas de onda motor BLDC em pu na região de MTPA.

Na Figura 7 é mostrado as formas de onda de corrente, potência e velocidade do motor BLDC em pu tendo como referência 1177,3 rpm. Valores obtidos foram: 0,980 em RMS para a corrente, -0,026, 0,769, 0,812 de valores médios para corrente, velocidade e potência respectivamente.

A resposta durante a partida se mostra suave. Como pode ser observado, as velocidades de rotação são amortecidas durando o período de partida do motor (Fig. 8 e 10), para ambas as regiões de operação (MTPA e EC). Apesar disso, não é possível notar uma diferença significativa, em termos de ondulação de potência, para as duas regiões de operação, ocorrendo uma distorção durante o enfraquecimento de campo.

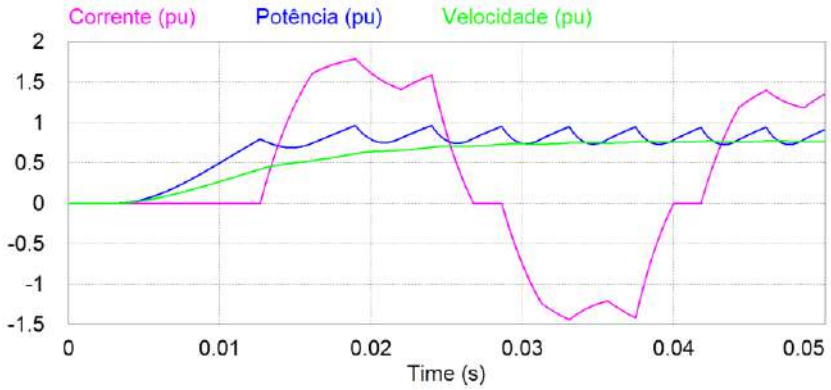



Figura 8. Formas de onda motor BLDC em pu durante partida na região de MTPA.

As formas de onda de corrente, potência e velocidade do motor BLDC em pu mostrados na Figura 8 foram obtidos tendo como referência 1177,3 rpm durante modo transitório. Valores obtidos foram: 0,995 em RMS para a corrente, 0,152, 0,627, 0,498 de valores médios para corrente, velocidade e potência respectivamente.

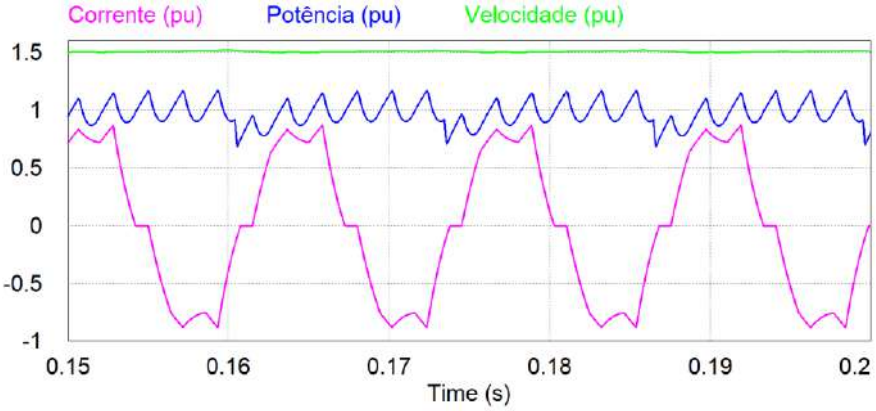



Figura 9. Formas de onda motor BLDC em pu na região de MTPA.

Na Figura 9 temos para a velocidade de 3816,8 uma as formas de onda de corrente, potência e velocidade do motor BLDC em pu. Valores obtidos foram: 0,619 em RMS para a corrente, -0,0207, 1,51, 0,974 de valores médios para corrente, velocidade e potência respectivamente.

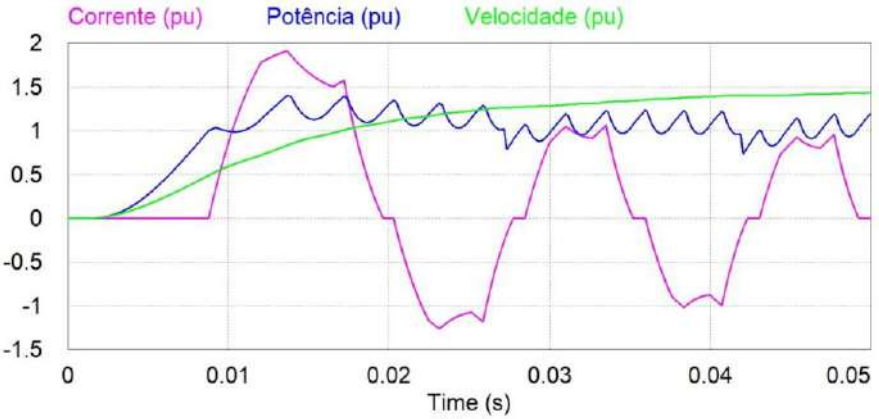


Figura 10. Formas de onda motor BLDC em pu durante partida na região de EC.

A Figura 10 é mostrado as formas de onda de corrente, potência e velocidade do motor MRV em pu tendo como referência 2311,6 rpm durante modo transitório. Valores obtidos foram: 0,876 em RMS para a corrente, 0,241, 1,01, 0,947 de valores médios para corrente, velocidade e potência respectivamente.

Impondo uma variação linear do torque na região de EC, acarreta em uma potência de saída não constante, de modo similar ao MRVC, como mostra o Gráf. 1. Apesar disso, o aumento de velocidade também é assegurando. Entretanto, observa-se maior redução de potência de saída, abaixo de 60%.

### 3.3 Avaliação Comparativa

É possível constatar por intermédio das Fig. 3 a 10 que as curvas de característica estática e o comportamento dinâmico na partida e em regime permanente estão concordantes com a literatura e com as aplicações do motor BLDC e MRVC para VE (Xia, 2012, Miller, 1989, Humiston; Pillay, 2002).

O Gráf. 1 compara o comportamento operacional nas regiões de MTPA e EC para ambos os motores. Desta forma, verifica-se uma resposta similar durante o regime nas velocidades elevadas. Sendo que o MRVC consegue atingir velocidades mais altas com uma menor perda de potência, quando comparado ao motor BLDC. Durante a operação com torque constante, o MRVC também apresenta um melhor desempenho tendo alcançado um torque ligeiramente superior que o motor BLDC. Ressalta-se que a saturação e as perdas rotacionais adicionais e as magnéticas foram negligenciadas.

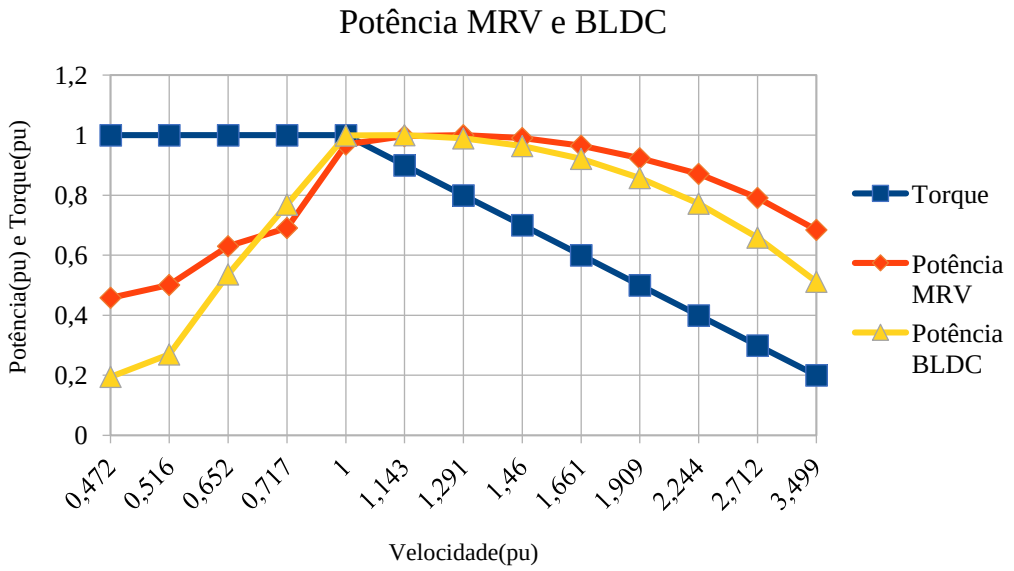



Gráfico 1. Comparação entre o motor MRV e o motor BLDC no sistema PU.

Devido a sua característica construtiva e operacional, o MRVC apresenta uma potência de saída oscilatória, consequentemente, sua velocidade de rotação também exibe o mesmo comportamento. Por outro lado, o motor BLDC consegue fornecer de forma praticamente constante a potência de saída e a velocidade é sintetizada de modo suave, ou seja, sem ondulações.

Durante a operação de partida, ambos os motores apresentam picos de corrente, sendo que o pico de corrente fornecida pelo MRVC é superior do que o motor BLDC. Nesse sentido, infere-se que os componentes eletrônicos do sistema de acionamento elétrico do MRVC deverão ser mais robustos, o que pode acabar por encarecer o custo do veículo como um todo. Outra questão importante são as ondulações de corrente e de torque eletromagnético do MRVC em regime permanente, pois podem reduzir a eficiência do motor devido às perdas no ferro, quando comparado ao motor BLDC (Baratieri, 2011).

Com relação à região de MTPA e EC, ambos os motores atendem plenamente a operação, em outras palavras, o MRVC e o motor BLDC podem ser aplicados em VEs, conforme discutido anteriormente na caracterização dos requisitos operacionais.

## 4. CONCLUSÃO

Esse artigo apresentou a comparação operacional dos motores BLDC e MRVC para VE. Ao se utilizar dos métodos de MTPA e EC se observou o comportamento dos regimes de operação dos motores e a transformação para o sistema pu

tornou a comparação dos mesmos mais simples e equitativa. Após esse trabalho é possível constatar que o motor BLDC apresenta maior potencial para equipar os futuros VEs devido suas características operacionais: melhor ondulações de potência e melhor velocidade de rotação. Além disso, a diferença de potência observada nos modos de operação MTPA e EC pode ser mitigada construtivamente.

## 5. REFERÊNCIAS

Abkenar, A. T. BLDC Motor Drive Controller for Electric Vehicles. Tese de Doutor da Filosofia – Swinburne University of Technology, May, 2014.

Baratieri, C. L. Controle de Velocidade Sensorless de Motores Brushless DC Submetidos Variação Periódica de Carga. Dissertação de Mestrado - UFSM, 2011.

Boaretto, F. Z.; Baratieri, C. L. Avaliação Comparativa entre Métodos de Acionamento e Controle Aplicados a Motores Elétricos para EV, HEV e PEV. In: XXIII Seminário Institucional de Iniciação Científica, 2017, Erechim. Anais do SIIC, 2017.

Bouiabady, M. M.; Amiri, A. D. A. and E. Switched Reluctance Motor Topologies: A Comprehensive Review. Long-Haul Travel Motivation by International Tourist to Penang, [s. l.], v. i, n. tourism, p. 13, 2018.

Chan, C. C. et al. Novel Permanent Magnet Motor Drives for Electric Vehicles. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, v. 43, n. 2, p. 331–339, 1996.

Chau, K. T. Electric Vehicle Machines and Drives - Design, Analysis and Application. IEEE, Wiley. 2015.

Conti, D.; Hinkel Junior, A. C; Baratieri, C. L. Modelagem e Controle do Motor de Relutância Variável aplicado no Sistema de Propulsão de Veículos Elétricos. In: IV Congresso Internacional de Gestão, Tecnologia e Inovação, 2018, Erechim. Anais do IV CONIGTI, 2018

Emadi, A. Advanced Electric Drive Vehicles. CRC Press, Taylor & Francis Group. 2006.

Filho, N. W. Sistema de Acionamento com Motor de Relutância Variável e Controle de Corrente e Velocidade. Monografia - Universidade Federal Do Ceará. 2010.

Hosseinpour, S.; Chen, H.; Tang, H. Barriers to the wide adoption of electric vehicles: A literature review based discussion. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, v. 2015- Septe, p. 2329–2336, 2015.

Humiston, T.; Pillay, P. Flux weakening operation of switched reluctance motors. v. 13699, n. C, p. 1372–1377, 2002.

Kazmierkowski, M. Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives (Emadi, A.; 2006) [Book News]. Taylor & Francis, Taylor & Francis Group. v. 2, 2008.

Kumar, L.; Jain, S. Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, p. 924–940, 2014.

Larminie, James; Lowry, John. Electric Vehicle Technology Explained. John Wiley & Sons, Ltd. v. 42, 2003.

Sarlioglu, B. et al. Driving Toward Accessibility: A Review of Technological Improvements for Electric Machines, Power Electronics, and Batteries for Electric and Hybrid Vehicles. IEEE Industry Applications Magazine, v. 23, n. 1, p. 14–25, 2017.

Miller, T. J. E.. Brushless and Reluctance Motor Drives. Oxford Science Publications. 1989.

Tichenor, J. L. A maximum torque per ampere control strategy for induction motor drives. IEEE Transactions on Energy Conversion, v. 13, n. 2, p. 163–169, 1998.

Xia, Chang Liang. Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd. 2012

Xue, X. D.; Cheng, K. W. E.; Cheung, N. C. Selection of electric motor drives for electric vehicles. Power Engineering Conference, 2008. AUPEC '08. Australasian Universities, p. 1–6, 2008.

Zhao, J.; Yangwei, Y. Brushless DC Motor Fundamentals Application Note. MPS, The future of Analog IC Technology, n. July 2011, p. 7–8, 2011.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE COMPARATIVA DE CONTROLADORES AO CONTROLE VETORIAL DO MOTOR SÍNCRONO DE ÍMÃ PERMANENTE PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

**Suélen Bampi**
**Cássio Luciano Baratieri**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS.
suel.bampi@gmail.com, cassiobaratieri@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Este artigo propõe a comparação entre o controle por realimentação de estados, controle ótimo e o controle clássico aplicado a um motor síncrono de ímã permanente para veículos elétricos. As técnicas aplicadas são direcionadas ao controle vetorial e avaliadas por simulação. Adotou-se a realimentação de estados, projetando o sistema de controle por meio da alocação de polos, o controle ótimo baseado no método de controle quadrático linear (Linear Quadratic Regulator - LQR) e, ao controle clássico, empregaram-se controladores Proporcionais Integrais. O projeto de controle foi realizado por intermédio do MATLAB, enquanto que a simulação foi conduzida no aplicativo PSIM. A análise comparativa demonstrou que ambos os resultados apresentam uma excelente rastreabilidade de referência no contexto do veículo elétrico, sendo que o custo computacional da realimentação de estado é inferior ao controle clássico.*

***Palavras chave:*** *alocação de polos, controle clássico, LQR, MISP, veículos elétricos.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em um cenário que resulta na extinção de recursos naturais, vem-se investindo em novas tecnologias (Kumar; Jain, 2014). Neste sentido, a preocupação com diversidade de energia, proteção ambiental e eficiência energética têm tornado os Veículos Elétricos (VE), Veículos Elétricos Híbridos (VEH) ou a Célula de Combustível (VCC), atrativos no cenário mundial (Khaligh; Li, 2010). Todavia, essas alternativas mesmo que já disponíveis comercialmente apresentam inúmeras questões tecnológicas que podem ser aprimoradas, visando propiciar um alto desempenho operacional aliado à eficiência energética. Desta forma, a pesquisa nessa área está se intensificando cada vez mais para tornar esse tipo de tecnologia mais acessível (Chau; Wong, 2015). Dentre as pesquisas, é possível destacar os estudos vinculados ao sistema de propulsão elétrica, principalmente, ao motor elétrico (Krishnan, 2010).

Diversos motores têm sido usados em VEs, desde o motor de indução ao motor de relutância variável. Apesar disso, o Motor Síncrono de Ímã Permanente (MSIP) é apontado na literatura como sendo uma das máquinas que apresenta o melhor custo benefícios quando aplicada em VEs, dadas suas características construtivas e de desempenho dinâmico operacional (Chau; Wong, 2015).

Entretanto a eficiência de desempenho revelada não está apenas associada às características construtivas do motor, mas também na aplicação do sistema de acionamento e controle (Molavi; Khaburi, 2008). Diversas técnicas podem ser usadas para controlar velocidade e/ou torque de uma máquina elétrica. Para MSIP, as técnicas podem ser classificadas basicamente em duas categorias: controle escalar e controle vetorial. Dadas as características de funcionamento do controle vetorial, as respostas dinâmicas associadas a ele apresentam desempenho superior de regulação de velocidade e/ou torque quando comparado ao controle escalar (Holtz; Model, 2006, Batzel; Lee, 2005). Neste sentido, vários trabalhos têm sido desenvolvidos, visando avaliar o controle por realimentação de estados, controle ótimo e os controladores clássicos baseados em ganho proporcional integral derivativo (PID). Técnicas de controle não linear, como os modos deslizantes, controladores adaptativos, entre outros também são alvo de avaliação na literatura por Kumar e Jain (2014) e Chau e Wong (2015). Entretanto, essas técnicas estão fora do escopo da avaliação comparativa deste artigo.

Propostas de metodologias de controle por realimentação de estados eficiente aplicada ao MSIP por meio de cenários de simulação realista são recorrentes nos artigos de Carpiuc e Lazar (2014) bem como no de Molavi e Khaburi (2008). Já Wicaksono e Prihatmanto (2015) propõem o controle ótimo aplicado à otimização de desempenho no projeto de um VE com uso mínimo de energia e velocidade média máxima. Os resultados indicam como o controle ótimo e o LQR em VEs têm impacto significativo na redução dos custos operacionais e no aumento do alcance e da velocidade de um veículo elétrico.

Por outro lado, com o objetivo de garantir o movimento uniforme do acelerador, manter a velocidade desejada e a velocidade zero estável para aumentar a eficiência dos veículos elétrico híbrido não linear (VEH), Saeed *et. al* (2016)

propõe uma análise do domínio do tempo aplicada por meio de simulações repetitivas, com o intuito de estabelecer uma técnica de controle otimizada que proporciona melhor economia de combustível e maior segurança ao dirigir. Neste trabalho, são comparados os controladores PID, controlador por alocação de polos, LQR e controlador observador de estado (COE). Esses controladores foram aplicados no modelo do veículo e não especificamente ao motor elétrico.

Yadav *et. al* (2011) realizam em seu trabalho uma análise comparativa com PID, LQR, COE e por alocação de polos além do controle adaptativo aplicados a VEH, objetivando constatar o controlador que melhor desempenha uma aceleração suave, erro zero em regime permanente e estabilidade de velocidade. Como resultado tem-se o controlador LQR apresentando melhor desempenho na metodologia proposta.

A fim de contribuir na área dos VEs, este artigo traz resultados parciais de uma análise qualitativa de resposta dos controladores por realimentação de estados, controlador ótimo e clássico quando aplicados a um MSIP sobre a perspectiva dos esforços requeridos no perfil de velocidade em veículos elétricos.

## 2. METODOLOGIA

Para realizar a análise comparativa dos métodos de controle clássico e por realimentação de estados, efetuou-se a modelagem matemática do MSIP, a linearização do sistema, o levantamento paramétrico e o desenvolvimento dos controladores: PI, LQR e por alocação de polos.

### 2.1 Modelo Dinâmico MSIP

O modelo matemático do MSIP avaliado considera um motor trifásico simétrico e conectado em Y a três fios, que por consequência, torna a equação de sequência zero nula, resultando apenas nas Eq. (1) e (2) de eixo de quadratura e de eixo direto, respectivamente, para descrever as tensões do estator da máquina. Essas equações são o resultado da aplicação de mudança de referencial por meio da transformada de Park (Krause *et. al*, 2013), expressar por:

$$V_q = R_s \cdot i_q + L_q \cdot \left(\frac{di_q}{dt}\right) + L_d \cdot i_d \cdot \omega_e + \omega_e \cdot \lambda'_m \quad (1)$$

$$V_d = R_s \cdot i_d + L_d \cdot \left(\frac{di_d}{dt}\right) - \omega_e \cdot L_q \cdot i_q \quad (2)$$

Em que $R_s$ é a resistência síncrona, $L_q$ indutância de eixo de quadratura, $L_d$ indutância de eixo direto, $V_q$ e $i_q$ é tensão e corrente de eixo de quadratura, $V_d$ *e* $i_d$ é tensão e corrente de eixo direto, $\omega_e$ velocidade angular elétrica e $\lambda'_m$ é a constante de fluxo magnético apresentada pelos imãs.

As equações que descrevem o comportamento mecânico do MSIP descritas por:

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{P}{2}\right)\left(\lambda'_m \cdot i_q + (L_d - L_q)\right) i_q \cdot i_d \quad (3)$$

$$J\frac{d\omega_m}{dt} = T_e - T_c - B\omega_m \quad (4)$$

em que $T_e$ é o torque eletromagnético, $P$ o número de polos, $T_c$ o torque de carga, $J$ momento de inércia, $B$ coeficiente de atrito viscoso e $\omega_m$ é a velocidade mecânica.

Baseados no conceito de que $i_q$ atua diretamente no controle do torque eletromagnético e $i_d$ atua no controle do conjugado de relutância, se o valor de $i_d$ for próximo ou igual a zero, $T_e$ torna-se diretamente proporcional a corrente de quadratura da máquina (Krause *et. al*, 2013), então considerando $i_d$ igual a zero e substituindo $T_e$ da Eq. (3) na Eq. (4):

$$J\frac{d\omega_m}{dt} = \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{P}{2}\right)\left(\lambda'_m \cdot i_q\right) - T_c - B\omega_m \quad (5)$$

### 2.2 Linearização do Sistema

A base para o controle está relacionada ao rotor do MSIP, logo o controle precisa agir nas correntes $i_q$ e $i_d$, Eq. (1) e (2). Ambas apresentam caráter não linear, pois possuem multiplicações de dois termos variantes no tempo. Como alternativa para linearização das equações adotou-se uma abordagem de desacoplamento (Baratieri, 2015), em que as tensões $V_q$ e $V_d$ são definidas na forma:

$$V_q \triangleq U_q + L_q \cdot i_q \cdot \omega_e + \omega_e \cdot \lambda'_m \quad (6)$$

$$V_d \triangleq U_d - \omega_e \cdot L_d \cdot i_d \quad (7)$$

sendo que os termos $U_q$ e $U_d$ são as parcelas lineares em que atuarão as ações de controle, descritos por:

$$U_q = R_s \cdot i_q + L_q \cdot \left(\frac{di_q}{dt}\right) \quad (8)$$

$$U_d = R_s \cdot i_d + L_d \cdot \left(\frac{di_d}{dt}\right) \quad (9)$$

As restrições e definições à modelagem do motor são: o MSIP é trifásico conectado em estrela (Y); perdas no ferro e por saturação do motor são desprezadas e os enrolamentos são considerados simétricos. Os parâmetros adotados neste artigo são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros MSIP

| ***PARÂMETROS*** | ***VALOR*** |
|---|---|
| Resistência Sincrona ($R_S$) | 2 Ω |
| Indutância de Eixo de Quadratura ($L_q$) | 0,01 H |
| Indutância de Eixo Direto ($L_d$) | 0,007 H |
| Número de Polos (P) | 4 |
| Momento de Inércia (J) | 0,001 kg.m$^2$ |
| Coeficiente de Atrito Viscoso (B) | 0,001 N/m/s |
| Constante de Fluxo Magnético ($\lambda_m$) | 0,2 Wb |

### 2.3 Controlador Clássico: PI

Para serem implementados exigem a determinação de dois parâmetros, o ganho proporcional descrito por $K_p$, o ganho integral descrito por $K_i$, estruturados a partir de função de transferência (FT) (Yadav *et. al*, 2011).

$$G_q = \frac{I_q}{U_q} = \frac{1}{L_q \cdot s + R_s} \quad (10)$$

$$G_d = \frac{I_d}{U_d} = \frac{1}{L_d \cdot s + R_s} \quad (11)$$

$$G_m = \frac{1}{J \cdot s + B} \quad (12)$$

Com as FT obtidas, realizaram-se as sintonias dos ganhos de cada um dos controladores com o auxílio da ferramenta *Sisotool* do *software* MATLAB. Assim, associando os valores paramétricos obtêm-se os ganhos de acordo com a frequência de corte em malha aberta para que os controladores realizem de forma satisfatória o controle do MSIP. Adotando frequência de corte de 100 Hz para as malhas de corrente e 5 Hz para a malha de velocidade, obtém-se os valores dos ganhos, apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Ganhos dos controladores

| ***FT*** | ***Ganho*** | ***Valor*** |
|---|---|---|
| $G_q$ e $G_d$ | $K_p$ | 4,4 |
| $G_q$ e $G_d$ | $T_i$ | 0,0035 |
| $G_m$ | $K_p$ | 0,0314 |
| $G_m$ | $T_i$ | 1 |

### 2.4 Controlador Por Realimentação de Estados: LQR

Método relacionado ao controle ótimo de sistemas, cujo objetivo é encontrar um possível vetor de controle **u**(*t*) que mova o estado para a região do espaço de estados desejado, associado a um índice de desempenho minimizado (Yadav *et. al*, 2011). Seu desenvolvimento requer a estruturação do sistema em espaços de estados:

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}u \tag{13}$$

$$y = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{D}u \tag{14}$$

Considerando $i_d$ nulo e adotando as equações que descrevem o sistema na forma de espaço de estados, obtém-se:

$$\begin{bmatrix}\dot{\omega_e} \\ \dot{i_q}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-\frac{B}{J} & k' \\ 0 & -\frac{R_s}{L_q}\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\omega_e \\ i_q\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0 \\ \frac{1}{L_q}\end{bmatrix} \cdot [u_q] \tag{15}$$

sendo $k'$

$$k' = \left(\frac{3}{2}\right)\left(\frac{P}{2}\right)(\lambda'_m) \tag{16}$$

$$y = [1 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix}\omega_e \\ i_q\end{bmatrix} + 0 \tag{17}$$

Associando os parâmetros definidos as variáveis genéricas que descrevem o espaço de estados, obtêm-se:

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix}-1 & 600{,}0 \\ 0 & -200{,}0\end{bmatrix} \boldsymbol{B} = \begin{bmatrix}0 \\ 100{,}0\end{bmatrix} \quad \boldsymbol{C} = [1 \quad 0] \quad \boldsymbol{D} = [0] \tag{18}$$

O método LQR exige a definição de duas matrizes, a matriz $\boldsymbol{Q}$ e a matriz $\boldsymbol{R}$, ambas são matrizes hermitianas positivas ou reais simétricas. Onde a matriz $\boldsymbol{Q}$ representa quais estados terão prioridade em relação a outros estados e a matriz $\boldsymbol{R}$ confere a magnitude dos ganhos, quanto menor o valor associado a ela maior será os ganhos associados ao sistema, atrelado diretamente a sua rapidez de resposta.

A matriz de ganhos $\boldsymbol{K}$ ótima de realimentação tendo por dimensões $\boldsymbol{K}$ = [k1 k2], é definida por:

$$\boldsymbol{K} = \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{P} \tag{19}$$

em que a matriz $\boldsymbol{P}$ é obtida pela solução da matriz algébrica de Ricatti

$$\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{P}^T + \boldsymbol{P}\boldsymbol{A} - \boldsymbol{P}\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{P} + \boldsymbol{Q} = 0 \tag{20}$$

Para os valores paramétricos considerados as matrizes $\boldsymbol{Q}$ e $\boldsymbol{R}$ assumiram os seguintes valores

$$\boldsymbol{Q} = \begin{bmatrix}90{,}5 & 0 \\ 0 & 140{,}5\end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{R} = [0{,}1] \tag{21}$$

A matriz de ganhos obtida a partir do comando *lqr(A,B,Q,R)* do MATLAB resulta em:

$$\boldsymbol{K} = [30 \quad 40 \quad 40] \tag{22}$$

Como consideração de $i_d$ igual a zero, o ganho a ser realimentado em $i_d$ pode ser arbitrado como sendo igual a $i_q$ porque a relevância associada a essa realimentação também vale zero quando semelhante ao ganho $i_q$.

### 2.5 Controlador Por Realimentação de Estados: Alocação de Polos

O método de controle por alocação de polos consiste em determinar uma matriz de ganho apropriada, a fim de mover os polos de malha fechada do sistema para posições desejadas de desempenho através de um polinômio característico (Yadav *et. al*, 2011).

Também representada em espaço de estados, a determinação da alocação dos polos pode ser feita através dos autovalores da matriz $\boldsymbol{A}$. Os autovalores são determinados por

$$|\lambda\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A}| = 0 \tag{23}$$

Com o sinal de controle aplicado ao sistema: $u = -\boldsymbol{K}x$, sendo a matriz de ganhos $\boldsymbol{K}$ = [k1 k2] e a estrutura em espaço de estados resultando em: $\dot{x} = (\boldsymbol{A} - \boldsymbol{BK})u$, obtém-se um polinômio associado as variáveis k1 e k2.

$$\lambda^2 + (100k2 + 200)\lambda + (100k1) = 0 \quad (24)$$

Neste sistema busca-se associar um polo lento correspondendo à dinâmica mecânica e um polo rápido que descreva a dinâmica elétrica do sistema, por conseguinte o polinômio característico pretendido para a alocação dos polos fica sendo

$$\lambda^2 + 3700\lambda + 1800 = 0 \quad (25)$$

igualando os termos de mesma ordem dos dois polinômios, obtém-se os valores dos ganhos da matriz $\boldsymbol{K}$

$$\boldsymbol{K} = [18 \quad 35 \quad 35] \quad (26)$$

### 2.6 Malhas de Controle

Os ganhos determinados para realimentação de estados tanto por alocação de polos como LQR são aplicados a malha apresentado na Fig. 1. Enquanto que o controlador clássico PI se usa da malha exposta na Fig. 2. Ambas as malhas de controle foram desenvolvidas no *software* Psim®.

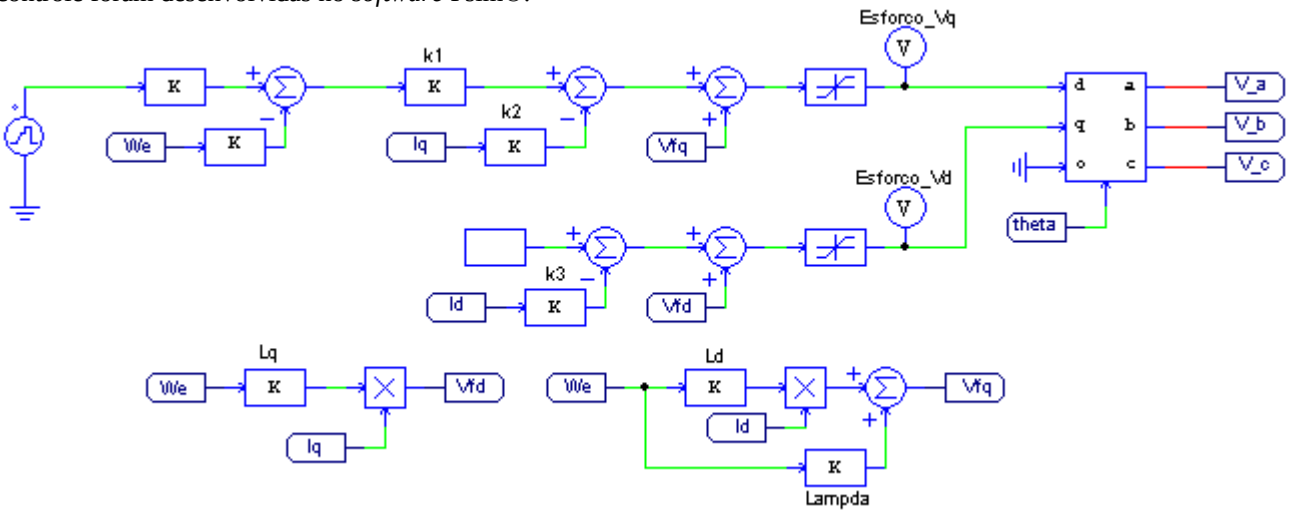



Figura 1. Malha de controle por realimentação de estados

As malhas de controle serão aplicadas a um bloco que representa a dinâmica equacionada do motor. O esquemático de alimentação e leitura de velocidade e torque, Fig. 3, tem seu bloco expandido, Fig. 4, mostrando a disposição dos circuitos elétricos e mecânico equivalente.

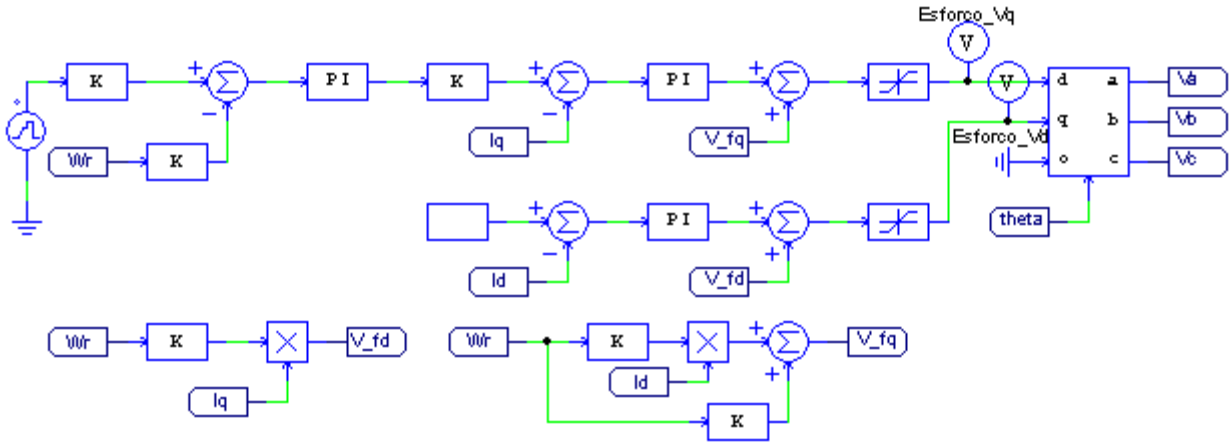



Figura 2. Malha de controle clássica com PI

A modelagem matemática permite descrever o comportamento dinâmico da máquina elétrica, ou seja, tem-se uma forma analítica de validação das próprias equações, além disso, a implementação alternativa de um modelo permite o acesso a todas as variáveis internas do sistema.

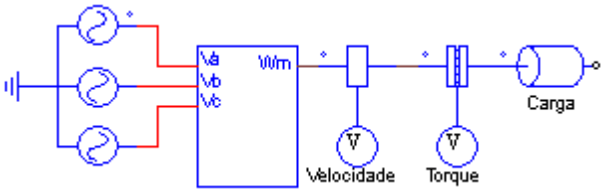



Figura 3. Ligação dos blocos do MISP

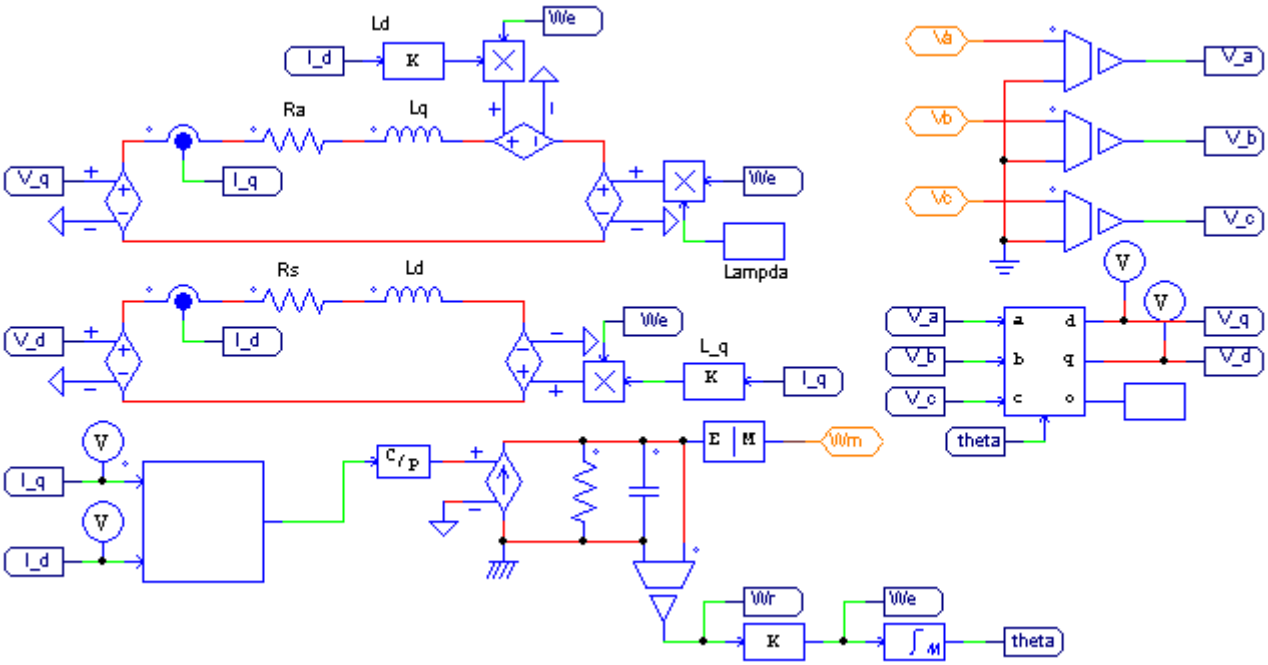



Figura 4. Bloco interno modelado

## 3. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Para avaliar o modelo de controle desenvolvido aplicou-se um sinal de referência na malha proposta constituida de uma rampa de velocidade de 0 rpm a 1500 rpm de 0 a 0,2s, rampa de 1500 rpm a 500 rpm de 0,5 s a 1 s. Ao analizar o rastreamento da referência de velocidade sem carga aplicada, Fig. 5 e com carga de 1 N.m aplicada, Fig 6.

Tabela 3. Diferença percentual do erro relativo

| *Tempo (s)* | *PI* | *LQR* | *Alocação de Polos* |
|---|---|---|---|
| ***0,29*** | 24,340 % | 2,030 % | 2,980 % |
| ***0,75*** | 6,3820 % | 0,232 % | 0,341 % |
| ***1,25*** | 0,0033 % | 0,234 % | 0,342 % |
| ***1,51*** | 66,960 % | 0,137 % | 1,292 % |

Da análise de erro relativo nota-se os controladores por realimentação estabilizado em regime permanete em valores significadivamente menores que o da referência quando comparado ao controlador PI. Como contraponto as malhas realimentadas mostraram um bom desempenho em transitórios e rampas. O objetivo com tempos rápidos para a atuação das controladores foi verificar o desempenho em situações que exigem elevado esforço dos controlador, os resultados se mostram satisfatórios dentro das condições exigidas.

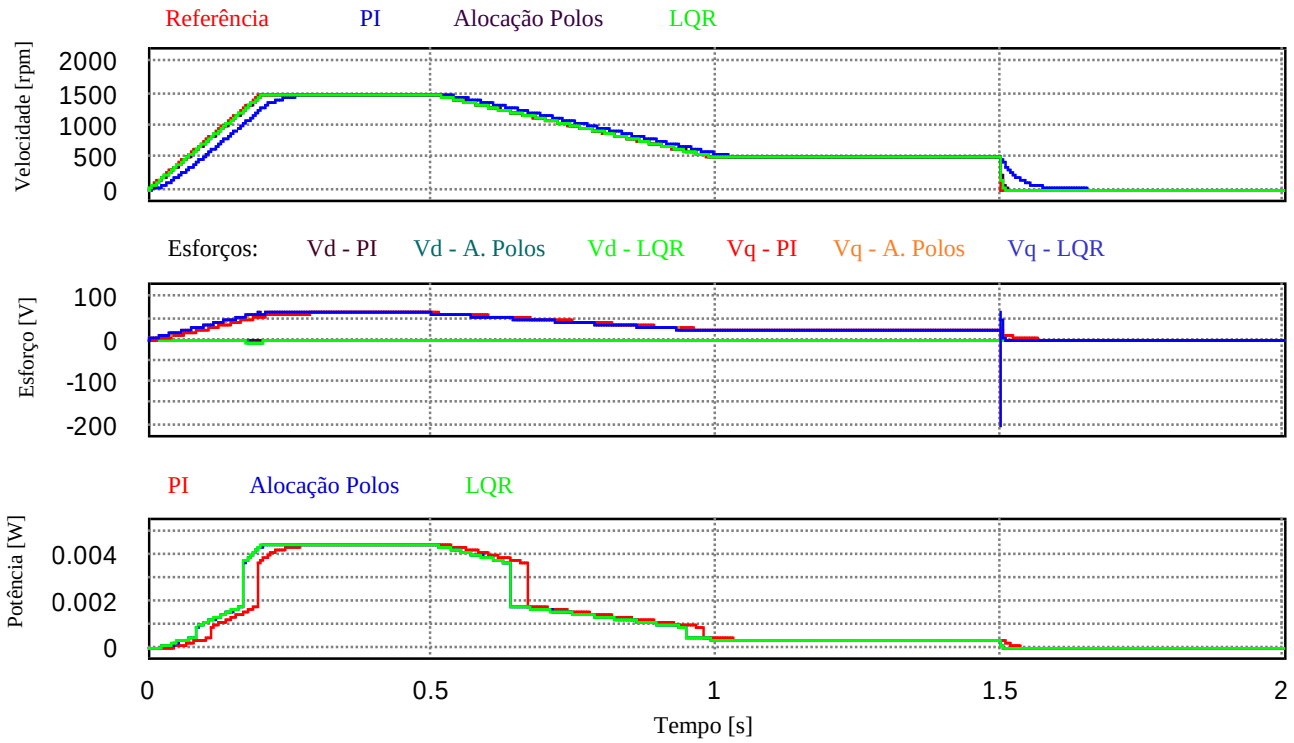



Figura 5. Análise comparativa entre métodos e esforços de controle exigidos e potência fornecida no eixo sem carga

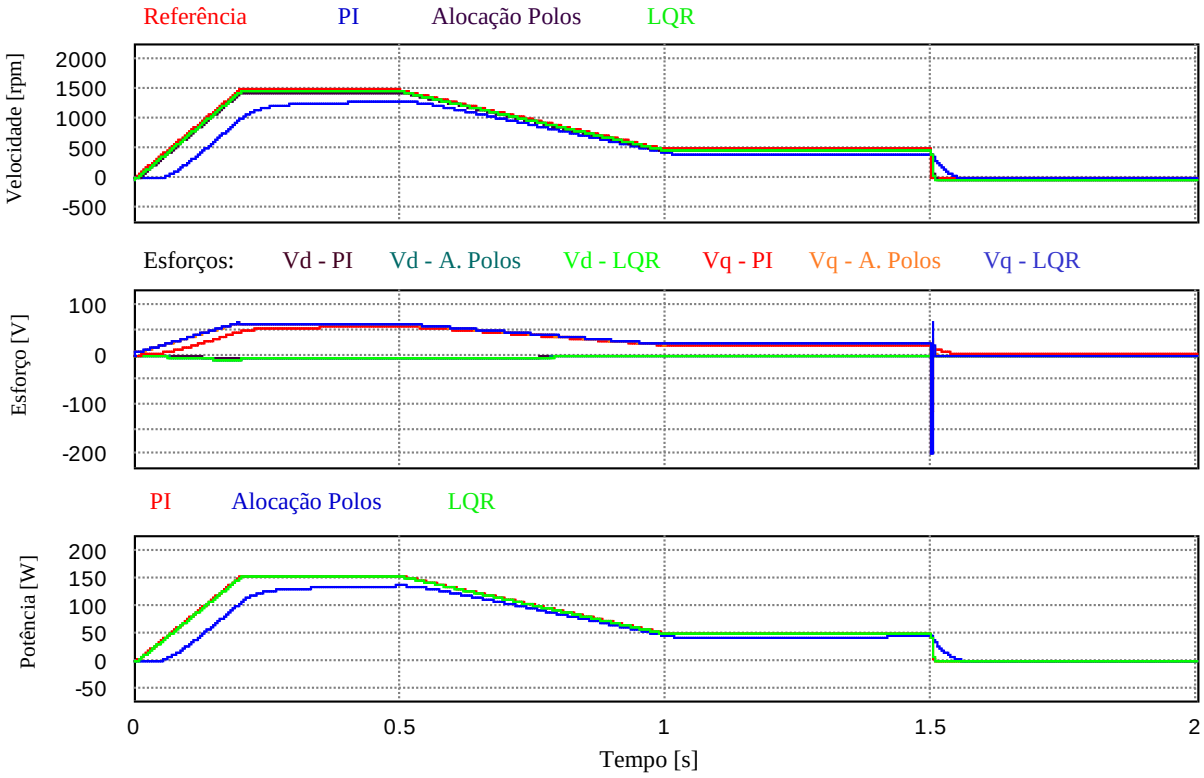



Figura 6. Análise comparativa entre métodos e esforços de controle exigidos e potência fornecida no eixo com carga

É possível verificar na análise sem carga que para os ganhos obtidos a partir do LQR tem-se um desempenho ligeiramente melhor nas mudanças de trajetório, tanto em rampa quando no rastreamento em regime permantente quando comparado a alocação de polos, pois em regime permanente o PI apresentou um melhor rastreamento, devido ao

integrador (princípio do modelo interno). Na plotagem dos esforços de controle limitou-se o sistema a $\mp 200$ V. Em geral, o excelente rastreamento de referência revela que os projetos dos controladores foram desenvolvidos de forma adequada, indicando condições favoráveis à aplicação experimental. A relação entre a respostas dos controladores e o sinal de referência resultaram em uma diferença percentual, Tab. 3, que nada mais é do que o erro existente entre estes valores.

O mesmo comportamento superior para o LQR é visto na análise com carga, entretanto para o rastreamento os controladores necessitam de maiores esforços na sua atuação, como mostrado na Fig. 6.

## 4. CONCLUSÕES

O artigo apresentou uma análise comparativa de todos os controladores aplicados para controlar a velocidade de um veículo elétrico que se usa de MSIP como elemento de tração. Podemos concluir que, do ponto de vista da resposta transitória e estacionária, o controle baseado em LQR apresentou o melhor desempenho entre os métodos analisados tanto com carga como sem carga, conclusão semelhante em outros estudos do gênero aplicados à indústria. A eficiência dos controladores por realimentação de estados propostos pode ser melhorada com a inserção de um polo no sistema que agregue melhor rastreamento em regime permanente, o que resultaria no mesmo desempenho apresentado pelo controlador PI para essas regiões. Como a velocidade em veículo não apresenta variações em degraus, ao controle clássico seria necessário ter dois integradores para erro nulo em regime permanente, ou aumentar significativamente a banda passante.

## 5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Regional Integrado do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim por disponibilizar os laboratórios de eletrônica, ao GEAPI – Grupo de Engenharia Aplicada a Processos Industriais e a FAPERGS pelo fomento à pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

Baratieri, C. L. 2015. *Contribuições ao controle do motor síncrono de íma permanentes com FCEM não senoidal*. Tede de doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Batzel, T. D.; Lee, K.Y. 2005. *Electric Propulsion With Sensorless Permanent Magnet Synchronous Motor: Implementation and Performance*. IEEE Transactions on Energy Conversion, v. 20, n. 3, p. 575–583.

Carpiuc, C.; Lazar, C. 2014. *State–Feedback Current Control of Permanent Magnet Synchronous Machine based Automotive Electrical Traction Drives under Real–Time and Physical Constraints*. 18th International Conference on System Theory, Control and Computing. Sinaia: Romania.

Chau, K. T.; Wong, Y. S. 2015. *Electric vehicle machines and drives: design, analysis and application*. Hong Kong: John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.

Holtz, J.; Model, A. S. 2006. *Sensorless Control of Induction Machines: With or Without Signal Injection ?.* IEEE Transactions On Industrial Electronics, v. 53, n. 1, p. 7–30.

Khaligh, A.; Li, Z. 2010. *Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 59, n. 6, p. 2806–2814.

Krause, P.; Wasynczuk, O.; Sudhoff, S.; Pekarek, S. 2013. *Analysis Of Electric Machinery And Drive Systems.* New Jersey.

Krishnan, R. 2010. *Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives*.

Kumar, L.; Jain, S. 2014. *Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, p. 924–940.

Molavi, R.; Khaburi, D. A. 2008. *Optimal Control Strategies for Speed Control of Permanent-Magnet Synchronous Motor Drives*. Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering v. 2, n. 8.

Saeed, M. A.; Ahmed, N.; Hussain, M.; Lafar, A. 2016. *A Comparative Study of Controllers for Optimal Speed Control of Hybrid Electric Vehicle*. ICISE.Islamabad: Pakistan.

Wicaksono, A.; Prihatmanto, A. S. 2015. *Optimal Control System Design for Electric Vehicle*. 4th ICIDM. Bandung; Indonesia.

Yadav, A. K.; Gaur, P.; Jha, S. K.; Gupta, J. R. P.; Mittal, A. P. 2011. *Optimal Speed Control of Hybrid Electric Vehicles*. Journal of Power Electronics, Vol. 11, n. 4.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CONTROLE DIGITAL DE POSIÇÃO PARA MOTORES CC APLICADOS A SERVOMECANISMOS ROTACIONAIS DE BAIXA VELOCIDADE

**Suélen Bampi**
**Cássio Luciano Baratieri**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner CEP 99700-000, Erechim, RS.
suel.bampi@gmail.com, cassiobaratieri@uricer.edu.br

**Resumo**: *Este artigo o propõe a aplicação de um método de controle digital de posição em um Motor de Corrente Contínua de Ímãs Permanentes com escovas (MCCIP), aplicado a servomecanismos dadas as grandes aplicabilidades dentro da engenharia. Os procedimentos metodológicos incluem a modelagem matemática e ensaios paramétricos do MCCIP e projeto de controle para este sistema. O sistema de controle foi projetado por meio dos métodos de sintonização do Lugar Geométrico das Raízes (LGR) e resposta em frequência, utilizando como ferramenta de projeto o Sisotool do software MATLAB. A validação do modelo matemático e a simulação computacional do método de estimação de velocidade foram realizadas no software PSIM e MATLAB. Por fim, são apresentados os valores paramétricos obtidos em ensaios e os resultados de simulação dos controladores com o rastreamento da velocidade e posição. O rastreamento da velocidade bem como da posição se mostraram satisfatórios para projeto mesmo ao limitar a energia do sistema a máxima suportada pelo MCCIP.*

***Palavras chave:*** *MCCIP, controle digital, controle de velocidade, servomecanismo.*

## 1. INTRODUÇÃO

O investimento de esforço humano para aprimorar o controle se justifica, pois, a segurança na execução de tarefas, precisão, padronização, qualidade e aumento de funcionalidade são características desejáveis na maioria das áreas, como por exemplo: medicina, robótica, energias renováveis, entre outras. Além disso, o controle, ao ser embarcado em determinadas estruturas, tornam inúmeros processos impraticáveis a mãos humanas possíveis, dado o emprego do controle digital em sistemas microprocessados (Nise, 2017; Dorf; Bishop, 2018).

Existe uma ligação entre servomecanismos e uma unidade de controle, onde é possível desenvolver uma vasta gama de produtos que beneficiam os mais variados segmentos da sociedade (Ogata, 2012). Estruturas rotacionais como radares, sistemas meteorológicos, observatórios astronômicos são meros exemplos que empregam controle voltado a geração de informação que beneficiam tantos outros setores (Reintjes; Coate, 1953).

A interligação de servomecanismos se dá através de um motor elétrico, que podem ser de várias topologias construtivas, o que lhes confere operação, rendimento e potência variada. Segundo Umans (2014) e Chapman (2013), o Motor de Corrente Contínua de Ímã Permanente Com Escovas (MCCIP) apresenta um bom custo benefício quando associado a mecanismos, pois tirando questões de manutenção, é a melhor opção em projetos que envolvam baixo custo de produção, robustez e acionamento simplificado.

Dentro da contextualização de servossistema, Ottoboni e Ribeiro (2017) propõem-se a implementação de uma central eletrônica para fazer o posicionamento de uma cúpula e de um telescópio que era operado de forma manual e sem um sistema de integração entre o telescópio e a cúpula. Também descrevem uma interface gráfica para gerenciar todas as características instrumentais. A principal justificativa do trabalho apresentada é tornar mais eficiente o observatório astronômico, sob direção do Laboratório Nacional de Astronomia.

Outro emprego de servomecanismo foi alvo do trabalho proposto por Armellini (2006), consistido no projeto de um servomecanismo capaz de suportar e posicionar uma antena de radar Doppler meteorológico. O projeto proposto usou-se de um motor *Brushless DC*, sensorizado por *encoder* absoluto tendo um complexo sistema de controle que envolveu distúrbios inerentes a esse tipo de modelo físico implementado em FPGA.

Percebe-se então uma necessidade de um bom ajuste entre o servomecanismo e a unidade de controle projetada, uma estrutura simples dentro da área de controle são os controladores PID, que em sua simplicidade ocupam mais de 90% das estruturas de controle dentro da indústria. Tal abrangência reside na eficácia do controle em uma gama de condições de operação que as plantas podem ser submetidas. Hoje com a facilidade de embarcar o controlador PI em microcontroladores, o desempenho operacional é ainda melhor (Dorf; Bishop, 2018).

Em vista das potencialidades do servomecanismo na área de engenharia, este trabalho propõe a aplicação do controle clássico e um MCCIP ao controle digital de posição de um sistema de baixa rotação.

## 2. METODOLOGIA

Os motores *Brushless DC* se sobressaem em relação aos com escovas em termos de desempenho operacional. Apesar disso, a complexidade de acionamento e o alto custo são desvantagens que tornam o motor com escovas uma solução viável que atende as necessidades de operação de um sistema de baixa rotação envolvido e que requeira elevado torque. Nas seções seguintes, são descritos o modelo matemático do MCCIP, ensaios paramétricos, modelagem da simulação da planta para validação das malhas de controle no *software* PSIM® e projeto do controlador através do método lugar das raízes utilizando o ambiente *Sisotool* do s*oftware* MATLAB® como ferramenta de suporte de sintonização.

### 2.1 Modelo Dinâmico MCCIP

Baseando-se no circuito equivalente representado do MCCIP (Krause *et. al*, 2013), aplica-se a lei de Kirchhoff das tensões, resultando em:

$$V_T = I_a R_a + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + E_a - V_{esc} \quad (1)$$

Assim tem-se que a tensão de terminal $V_T$ [V] é igual a corrente da armadura $I_a$ [A] multiplicado pela resistência de armadura $R_a$ [Ω], somadas a indutância da armadura $L_a$ [H] multiplicando a variação de corrente da armadura, mais a tensão induzida na armadura $E_a$ e menos a queda de tensão provindas das escovas [V].

A tensão induzida na armadura pode estar sendo representada por:

$$\mathrm{E_a} = \mathrm{K_e}\phi\omega_\mathrm{m} \quad (2)$$

isso porque a relação entre as propriedades magnéticas $\phi$ e a geometria construtiva do motor $K_e$ são ambos valores constantes.

A relação de torque eletromagnético $\mathrm{T_e}$ dada em [N.m] e demostrada por Krause et. al (2013) por outro lado pode ser escrita por:

$$T_e = J\frac{d\omega_m}{dt} + B_m\omega_m + T_c \quad (3)$$

sendo $J$ o momento de inércia associado ao motor $[kg.m^2]$, $B_m$ representa o atrito mecânico $[N.m.s]$ e $T_c$ é o torque de carga [N.m]. O torque também pode ser representado por grandezas elétricas, associado a corrente de armadura e fluxo magnético e uma constante mecânica:

$$\mathrm{T_{mec}} = \mathrm{K_m}\phi\mathrm{I_a} \quad (4)$$

Para obtenção do comportamento dinâmico do MCCIP, ou seja, da função de transferência, a Eq. (1) foi reescrita após aplicação da transformada de Laplace, sem a parcela agregada pela queda de tensão nas escovas $V_{esc}$ e usando a igualdade expressa na Eq. (2).

$$\mathrm{V_T(s)} = \mathrm{R_aI_a(s)} + \mathrm{L_asI_a(s)} + \mathrm{K_e}\omega_\mathrm{m}\mathrm{(s)} \quad (5)$$

Sendo aplicado também transformada de Laplace na equação do torque eletromagnético.

$$\mathrm{T_e(s)} = \mathrm{Js}\omega_\mathrm{m}\mathrm{(s)} + \mathrm{B_m}\omega_\mathrm{m}\mathrm{(s)} \quad (6)$$

sendo uma relação válida

$$\mathrm{T_e} = \mathrm{T_{mec}}\text{-}\mathrm{T_c} \quad (7)$$

onde $T_c$ representa os distúrbios associados ao eixo e sendo considerado zero nesse primeiro momento, seus efeitos foram estabilizados com a inserção do controlador, e sem a presença de distúrbios, o torque eletromagnético ($T_e$) acaba sendo igual ao torque mecânico ($T_{mec}$), logo

$$K_m \frac{V_T(s)-K_e\omega_m(s)}{(R_a+L_as)} = Js\omega_m(s) + B_m\omega_m(s) \quad (8)$$

manipulando de forma a obter-se a relação entrada $\theta_m(s)$ pela saída $V_T(s)$ chega-se à função de transferência do sistema.

$$G(s) = \frac{\omega_m(s)}{V_T(s)} = \frac{K_m}{(JL_a)s^2 + (JR_a+B_mL_a)s+(B_mR_a+K_mK_e)} \quad (9)$$

## 2.2 Ensaios Paramêtricos

Dada a modelagem matemática os vários parâmetros que compõem MCCIP precisam ser definidos de acordo com a máquina visada. A forma mais objetiva se dá através de ensaios com instrumentos de medida que meçam as grandezas de interesse, que se limita a: resistência de armadura ($R_a$), indutância de armadura ($L_a$), queda de tensão nas escovas ($V_{esc}$), constante de conjugado do motor ($K_e$), constante de atrito viscoso ($B_m$) e momento de inércia ($J$).

O motor adotado é da Akiyama Motors, modelo DC AK555/11.1PF12R83CE-SG. Os dados de operação disponibilizados pelo fabricante encontram-se na Tab. 1 e na Fig. 1 tem-se o MCCIP especificado.

Tabela 1. Especificações técnicas do fabricante.

| **Tensão** | **Sem Carga** | | **Partida Direta** | | **Máximo Rendimento** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Nominal* | *Rotação* | *Corrente* | *Corrente* | *Torque* | *Rotação* | *Corrente* | *Torque* |
| 12 V | 83 rpm | 430 mA | 6 A | 53 kgf.cm | 65.4 rpm | 1.6 A | 11.1 kgf.cm |

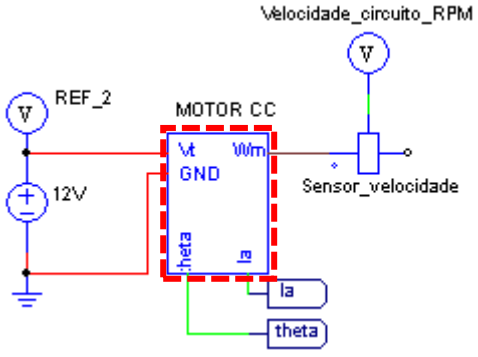


Figura 1. Motor ensaiado.

A instrumentação de medidas necessária aos ensaios consistiu de tacômetro digital (Minipa MDT-2238B), multímetro digital (Fluke 17B+), medidor RLC (Minipa MC-155), fonte de tensão 32V – 6A (Minipa) e cronômetro.

## 2.3 Simulação da planta

As malhas de controle são aplicadas a um bloco que representa a dinâmica equacionada do motor desenvolvido no *software* PSIM®. O esquemático de alimentação e leitura de velocidade tem seu bloco expandido, Fig. 2, mostrando a disposição dos circuitos elétricos e mecânico equivalente.



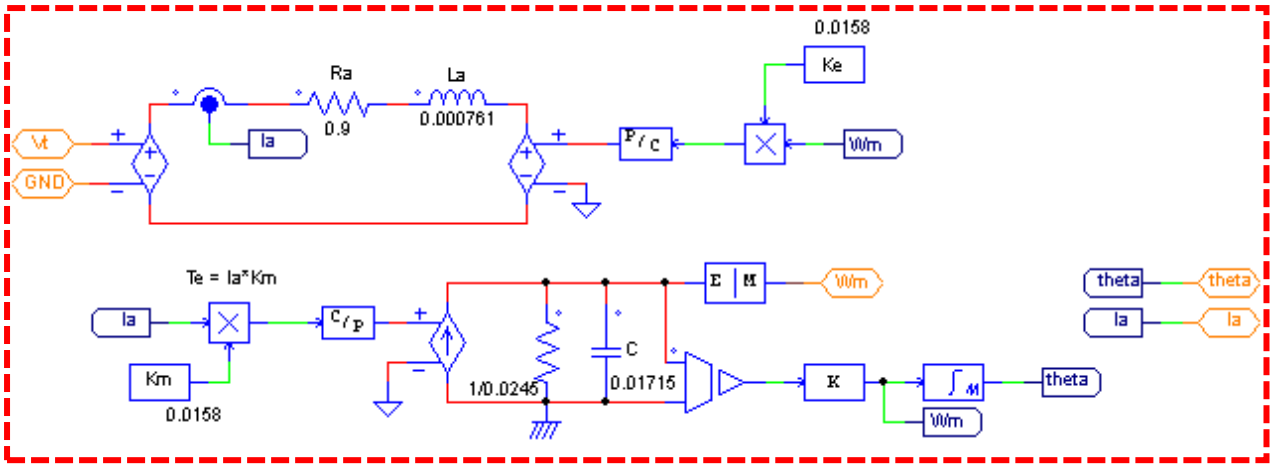



Figura 2. Bloco do circuito eletromecânico do MCCIP.

### 2.4 Sintonização dos controladores

Como método de sintonização foi utilizado tanto a resposta em frequência como o Lugar Geométrico das Raízes (LGR) usando-se da interface do *sisotool* do MATLAB de forma a analisar o desempenho do controlador. A Fig. 3 mostra a estrutura da malha de controle.

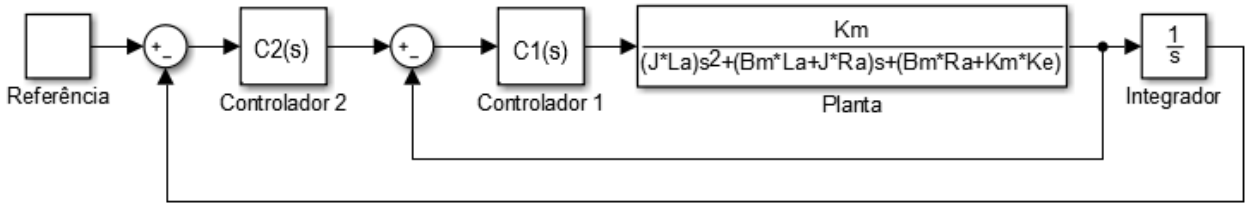



Figura 3. Malha de controle de posição.

#### 2.3.1 Malha interna do controlador

Primeiramente, a estrutura da malha interna $C_1(s)$ foi definida com a quantidade de integradores e zeros relacionada a uma ação proporcional. Usando como base a estrutura de um PID acrescentou-se mais um integrador e um zero real de forma a obter do controlador uma resposta adequada a rampas, como mostra a Eq. (10). O acréscimo de mais integradores e zeros reais fundamentou-se no princípio do modelo interno, visando aprimorar o rastreamento de sinais de referência do tipo rampa. A função de transferência

$$C_1(s) = \frac{19{,}047(s+1{,}44)(s+3{,}71)}{s^2} \tag{10}$$

A Fig. 4 evidencia a metodologia de simulação computacional do sistema de controle.

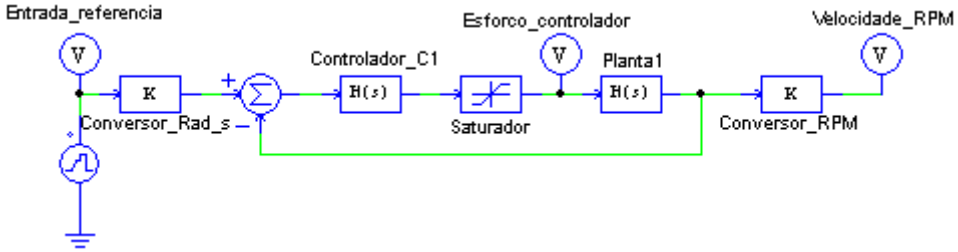



Figura 4. Malha de controle de velocidade.

#### 2.3.1 Malha externa do controlador

Para a malha $C_2(s)$, ocorreu o acréscimo de um integrador, responsável por converter a velocidade no parâmetro de posição, além de mais um zero. O sistema de controle resultante é apresentado na Fig. 5 e o controlador $C_2(s)$ dado por:

$$C_1(s) = \frac{19{,}047(s+1{,}44)(s+3{,}71)}{s^2} \quad (11)$$

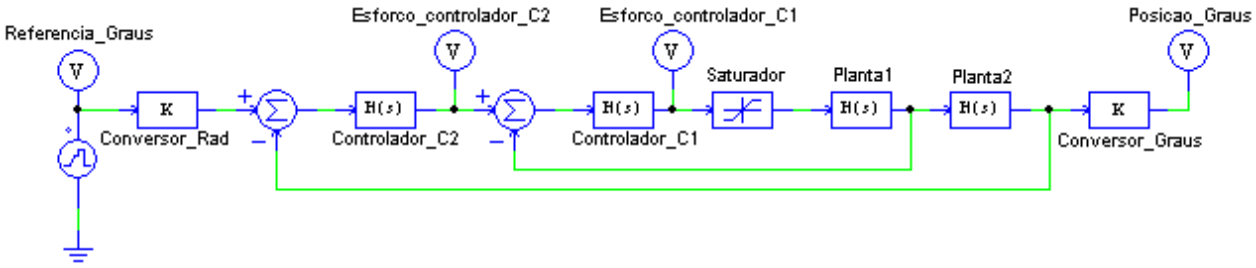



Figura 5. Malha de controle de posição.

### 2.3.1 Discretização dos Controladores

Após obtenção do controlador é necessário discretizar o controlador com o intuito de posteriormente embarcá-lo em um microcontrolador, para isso utilizou-se o método de *Tustin* (Ogata, K. 1987; Oppenheim; Schafer, 2012).

$$s = \frac{2(z-1)}{T(z+1)} \quad (12)$$

Com as Eq. (10) e (11) discretizadas a uma frequência de amostragem de 200 Hz, geram-se as seguintes equações de diferença

$$y[n] - 2y[n-1] + y[n-2] = 19{,}29x[n] - 38{,}09x[n-1] + 18{,}8x[n-2] \quad (13)$$

$$y[n] - y[n-1] = 8{,}921x[n] - 8{,}921x[n-1] \quad (14)$$

Na Fig. 6 tem-se a malha de controle discreta, com a inserção blocos 'ZOH' responáveis por fazer a transição continua em discreta do sistema de controle para e planta e nas suas realimentações.

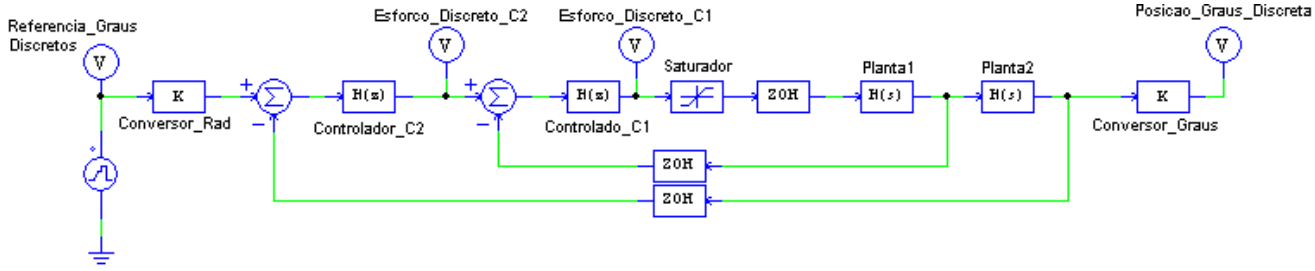



Figura 6. Malha de controle de posição discreta.

## 3. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Dos ensaios realizados no motor CC AK555/11.1PF12R83CE-SG, obteve-se os dados expostos na Tab. 2.

Tabela 2. Parâmetros obtidos em ensaio.

| | Valor Paramétrico | Unidade |
|---|---|---|
| Indutância de Armadura (La) | 0,000761 | H |
| Resistência de Armadura (Ra) | 0,900000 | Ω |
| Constante de Conjugado do Motor Elétrica ($K_e$) | 0,015800 | V/(rad/s) |
| Constante de Atrito Viscoso ($B_m$) | 0,024500 | $N.m.s$ |
| Momento de Inércia (J) | 0,017150 | $kg.m^2$ |

Salienta-se que os valores relativamente grandes para os parâmetros *J* e *B* são devido a uma redução acoplada ao eixo do motor, que reflete diretamente nos parâmetros mecânicos, logo, no constante de tempo mecânica obtida, com valor de 0,7 s.

O efeito da redução pode ser analisado de forma mais clara na Tab. 3, especificamente comparando as velocidades elétricas, referida ao eixo do rotor e a velocidade do eixo, referida ao eixo após a redução.

Tabela 3. Velocidade e corrente obtidas em ensaio.

| Tensão de Terminal [V] | Corrente de Armadura [A] | Velocidade [rad/s] Elétrica | Velocidade [rad/s] Eixo | Velocidade [RPM] Eixo |
|---|---|---|---|---|
| 1,012 | 0,0215 | 39,2690 | 0,555 | 5,30 |
| 2,001 | 0,0220 | 95,2950 | 1,194 | 11,4 |
| 3,008 | 0,0231 | 170,379 | 1,885 | 18,0 |
| 4,040 | 0,0241 | 234,258 | 2,513 | 24,0 |
| 5,010 | 0,0490 | 300,231 | 3,382 | 32,3 |
| 6,000 | 0,0254 | 363,586 | 4,105 | 39,2 |
| 7,010 | 0,0263 | 432,283 | 5,006 | 47,8 |
| 8,010 | 0,0660 | 498,571 | 5,539 | 52,9 |
| 9,000 | 0,0212 | 563,916 | 6,262 | 59,8 |
| 10,01 | 0,0279 | 627,376 | 6,922 | 66,1 |
| 11,00 | 0,0286 | 694,920 | 7,738 | 73,9 |
| 12,01 | 0,0291 | 764,768 | 8,482 | 81,0 |

As comprovações do funcionamento adequado das plantas modeladas, quando aplicado as mesmas tensões impostas ao motor nos ensaios paramétricos, estão indicadas na Fig. 7. Quando comparados os valores simulados aos valores presentes na Tab. 3, percebe-se uma similaridade dos valores.

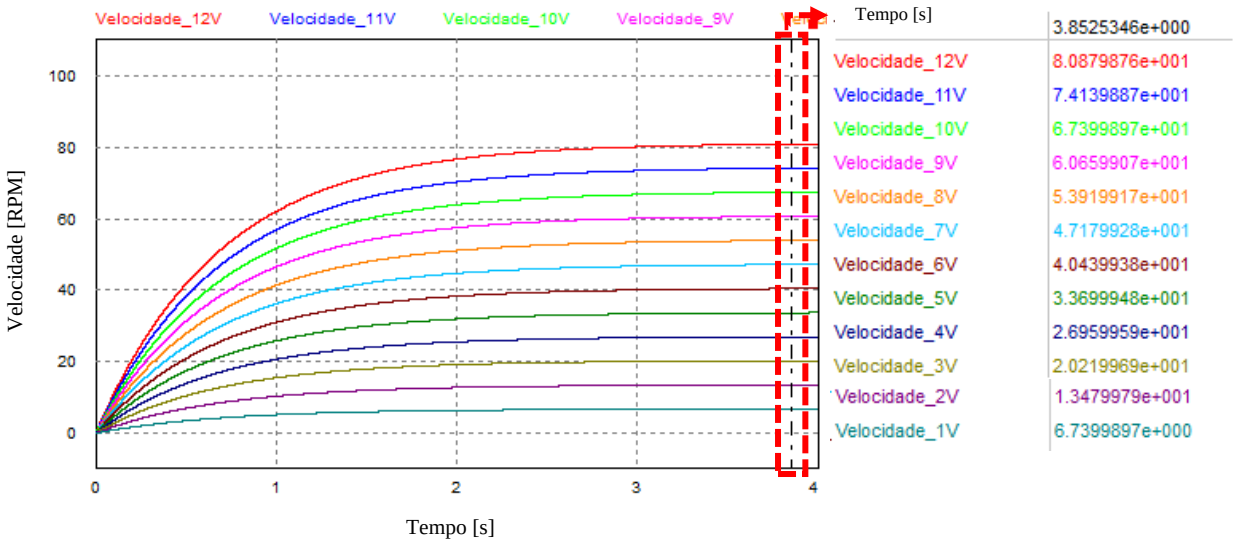



Figura 7. Resposta da planta simulada a diferentes tensões aplicadas.

Destaca-se a possibilidade de erros inerentes a medição dos parâmetros, imprimidos por queda de tensão, mal contato, temperatura, dentre outros fatores que influência nos resultados experimentais e propagam erros para a modelagem matemática do sistema.

### 3.1 Resposta da malha interna de controle

Analisando a malha interna, Fig. 4, correspondente a velocidade chegou-se ao comportamento de saída expresso na Fig. 8. A resposta da malha de controle quando a referência de entrada do sistema é 80 RPM. Enquanto na Fig. 9 tem-se o desempenho da malha sobre o ponto de vista do esforço de controle requerido.

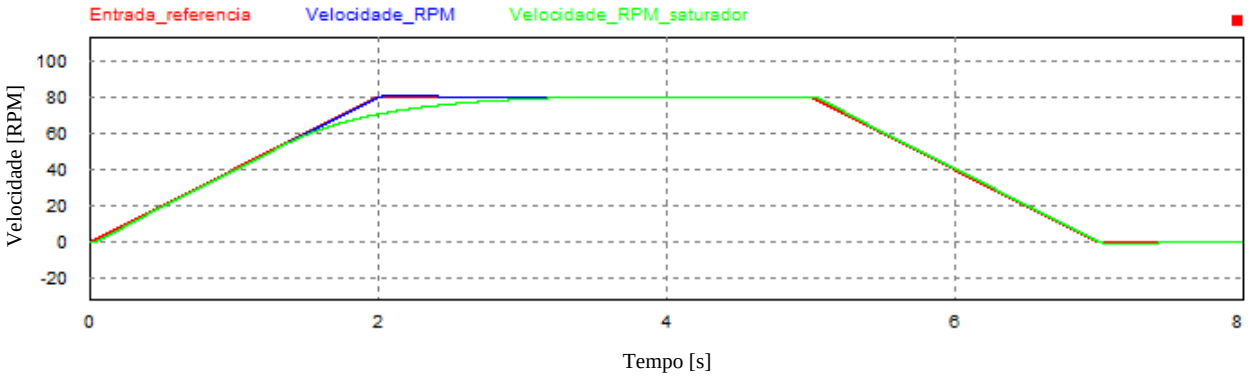



Figura 8. Resposta do controlador a uma entrada de referência.

Percebe-se o rastreamento da referência por parte do controlador, além disso tem-se uma terceira plotagem em verde que demostra o comportamento de resposta da saída quando a energia do sistema é saturada em 12 V.

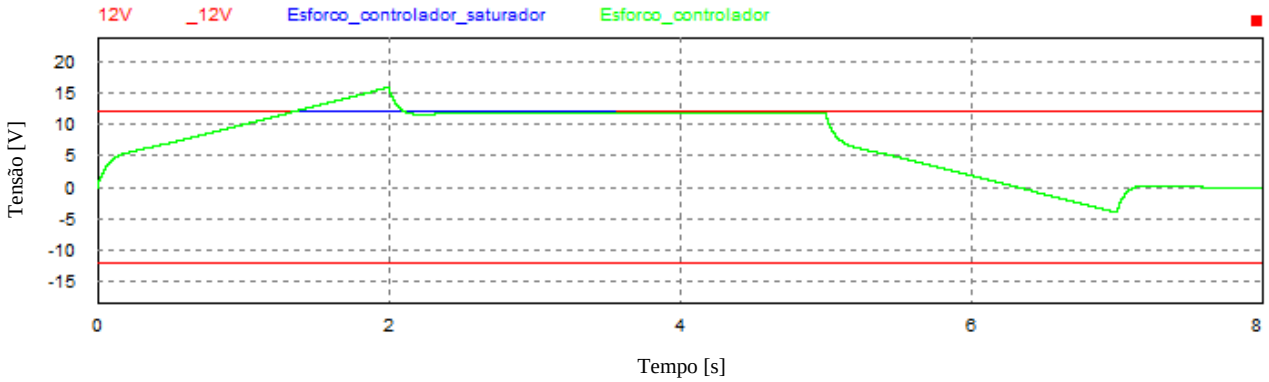



Figura 9. Esforço de controle presente na malha de velocidade.

Constata-se ao analisar o esforço do controlador para rastrear a referência, uma rápida saturação, isto é, para seguir a referência máxima de 80 RPM, o controlador necessita de 3,6 V a mais do que a tensão máxima aplicável ao motor, com a devida limitação de tensão é possível ver que o tempo para rastrear a referência aumenta dada a baixa energia disponível ao controlador, informações verificável na Fig. 9.

### 3.2 Malha externa de controle

A inserção do segundo controlador para rastreamento da posição associado ao controlador de velocidade representada na malha de controle da Figura 5, tem seu comportamento analisado mediante uma referência de 360° em rampa de subida e descida de 2 s está assinalada na Fig. 10. A resposta a degraus de 45°, 90°, 180° e 360° são mostradas na Fig. 11. O esforço de controle está representado na Fig. 12.

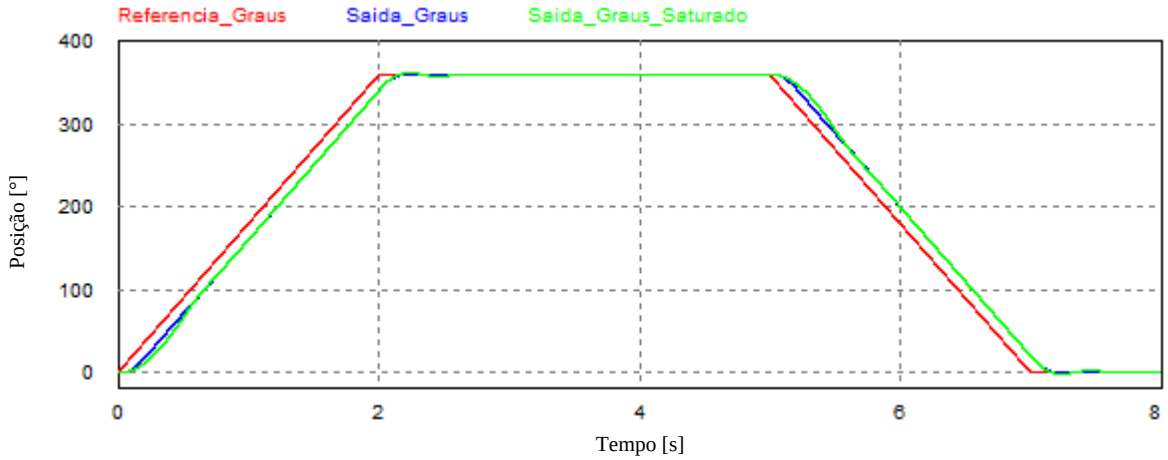


Figura 10. Resposta da malha de controle a uma posição de referência.

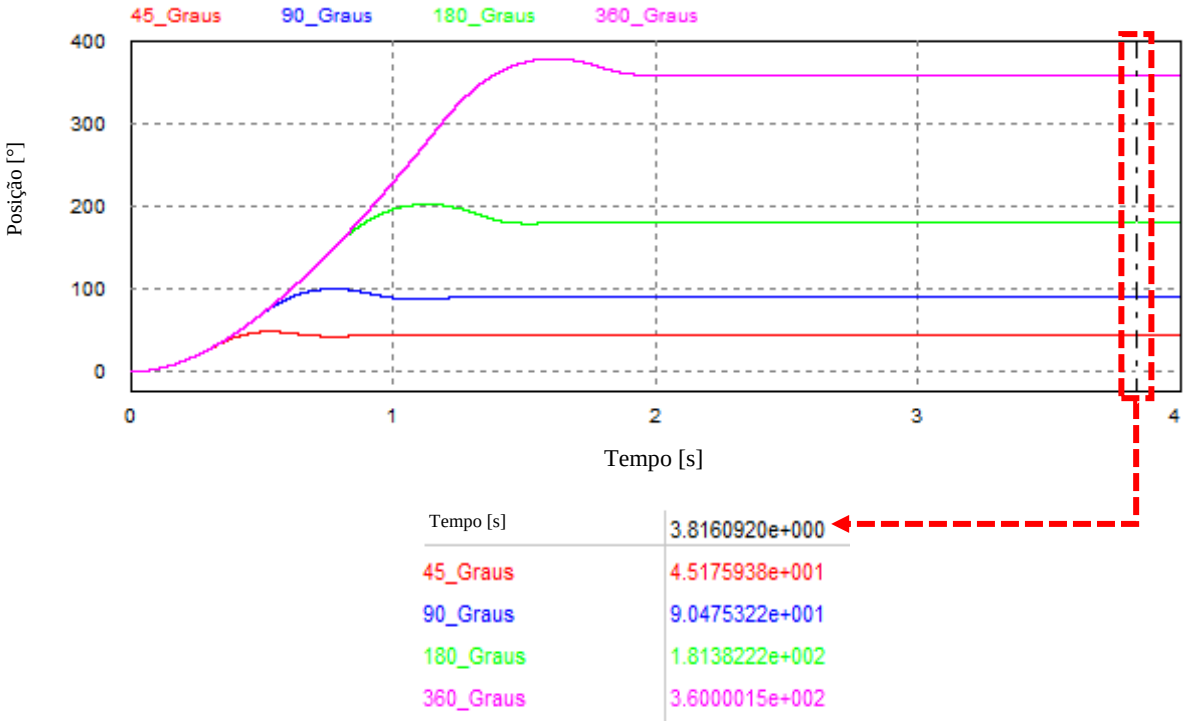



Figura 11. Resposta da malha de controle a referências de 45°, 90° 180° e 360°.

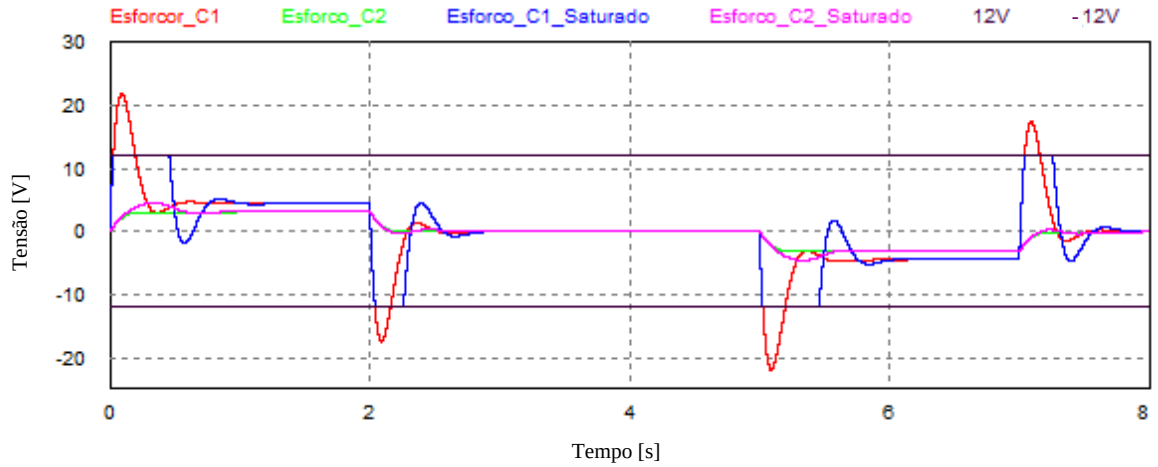



Figura 12. Esforço de controle com referência de 360°.

Como o sistema servomecanico que receberá a ação de controle tem por característica baixa velocidade de rotação, o controlador não será tão exigido e questões de saturação dos controladores será irrelevante para a dinâmica do sistema.

### 3.3 Controlador discreto

Analisando a saída da malha da Fig. 6 tem-se a mesma concepção da malha externa de controle, agora na sua forma discreta. Na Fig. 13 tem-se além da saída de posição a uma referência de 380°, uma análise de esforço de controle limitando o sistema a 12V.

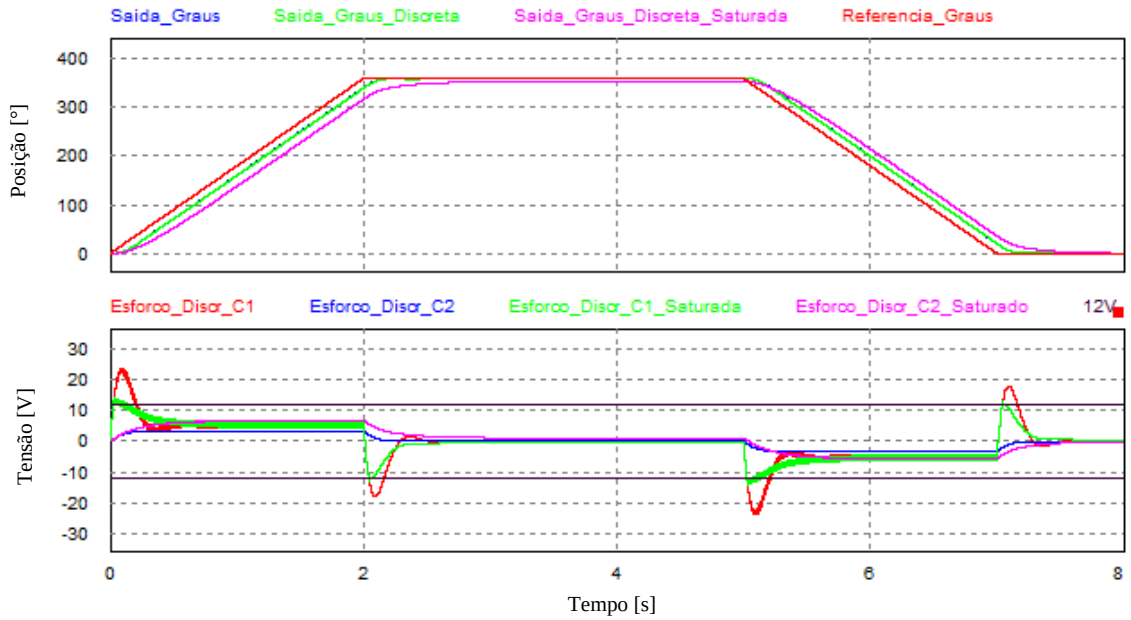



Figura 13. Malha de controle discretizada e de tempo contínuo.

O comparativo indica explicitamente coerência entre os dois modelos, a correta discretização é fundamental para implementação em um microcontrolador. Além disso, em uma análise do esforço de controle, novamente tem-se uma saturação de 13 V a mais do que o valor máximo de tensão suportado pela planta.

## 4. CONCLUSÕES

O artigo apresentou o desenvolvimento de um controlador capaz de ajustar a posição de saída do sistema com base em uma posição de referência qualquer. Podemos concluir que mediante simulação computacional a metodologia proposta culminará em resultados satisfatórios nas malhas de controle.

Os ensaios paramétricos deram base a modelagem matemática do MCCIP, para o qual se projetou os controladores. Apesar de uma saturação no controlador ocorrer nos valores máximos de operação da máquina, o tempo de resposta requerido ao controlador é bem baixo devido as características da planta, acabando por não desempenhar complicações a malha de controle.

A rastreabilidade do sistema mostrou que é implementável o controlador desenvolvido em servomecanismo de grande porte em que a velocidade de operação é relativamente baixa e obter erros praticamente nulos de posição em regime permanente, condição vital em muitos sistemas existentes e que serviram de parâmetro de desempenho quando efetuado o projeto do controlador.

## 5. REFERÊNCIAS

Chapman, S. J. 2013. "Fundamentos de Máquinas Elétricas". Tradução: Anatólio Laschuk. 5ª ed. - Porto Alegre: AMGH.

Dorf, R. C.; Bishop, R.H. 2018. "Sistemas de Controle Moderno". Tradução Rubens Junqueira Magalhães Afonso. 13ª ed. - Rio de Janeiro: LTC.

Krause, P. Wasynczuk, O.; Sudhoff, S.; Pekarek, S. 2013. "Analysis of Electric Machinery and Drive Systems". 3ª ed. – New Jersey: IEEE Press Wiley.

Nise, N. S. 2017. "Engenharia de Sistemas de Controle". Tradução e revisão técnica Jackson Paul Matsuura. 7ª ed. - Rio de Janeiro: LTC.

Ogata, K. 2012. "Engenharia de Controle Moderno". Tradução Heloísa Coimbra de Sousa. 5ª ed. – Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall.

Ogata, K. 1987. "Discrete – Time Control Systems". 2ª ed. - New Jersey: Prentice-Hall.

Oppenheim A.V.; Schafer R. W. 2012. "Processamento em Tempo Discreto de Sinais". Tradução Daniel Vieira. 3ª ed. - São Paulo: Pearson Education do Brasil.

Ottoboni, R.; Ribeiro, M. P. 2017. "Requisitos para a Automação e Operação do Observatório no Telhado: Notas Técnicas do Laboratório Nacional de Astrofísica". Itajubá – MG.

Reintjes, J. F.; Coate, G. T. 1953. "Principles of Radar". 3ª ed. – New York: McGraw-Hill.

Umans, S. D. 2014. "Máquinas Elétricas de Fitzgerrald e Kingsley". Tradução Anatólio Laschuk. 7ª ed. - Porto Alegre: AMGH.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Elétrica:

# Processamento de Energia Elétrica

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MODULAÇÃO SPWM DE DOIS NÍVEIS PARA CONVERSORES CC-CA MONOFÁSICO HALF BRIDGE E FULL BRIDGE

**Cristiano Facco**
**Fabrício Hoff Dupont**
**Gleyson Luiz Piazza**
Unochapecó – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Câmpus de Chapecó. Rua Servidão Anjo Guarda, 295-D, Efapi, Chapecó - SC.
facco_2010@unochapeco.edu.br, fhd@ieee.org, gleyson@unochapeco.edu.br.

***Resumo:*** *O objetivo deste trabalho é a elaboração e implementação da modulação senoidal de dois níveis, utilizando microcontrolador, aplicada em conversores CC-CA monofásico Half Bridge e Full Bridge. Esta técnica possibilita regular a tensão na saída aplicada nos terminais da carga. Em inúmeras aplicações de conversores CC-CA é necessário ajustar a tensão aplicada para diferentes tipos de cargas, como por exemplo em aplicações onde baterias são as fontes de energia, tanto pela variação da tensão quanto pelas suas impedâncias intrínsecas que alteram a dinâmica do sistema. A modulação por largura de pulsos senoidal consiste em comparar uma onda moduladora senoidal de referência com uma portadora de alta frequência, a qual transporta a informação da frequência de chaveamento. A modulação SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) é largamente utilizada devido a sua simplicidade na regulação da tensão eficaz de saída, através do índice de modulação. O índice de modulação se caracteriza pela relação entre os sinais de tensão da moduladora e portadora e este por sua vez, implica na obtenção de diferentes valores da tensão instantânea de saída. Com intuito de colaborar os estudos teóricos implementou-se em um microcontrolador PIC a modulação 2N, aplicando os sinais gerados nas topologias dos conversores Half-Bridge e Full Bridge. Através dos dados experimentais, demostra-se as características intrínsecas do software desenvolvido para a geração da modulação.*

***Palavras chave:*** *Conversor CC-CA, Modulação dois níveis, PWM, SPWM, Sinusoidal Pulse Width Modulation.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na implementação de conversores CC-CA de tensão deseja-se regular ou controlar a tensão aplicada a carga. A característica de regulação de tensão aplica-se, por exemplo, para cargas críticas e para controlar a velocidade de máquinas alternadas rotativas.

A topologia construtiva do conversor *Half Bridge* (Fig. 1) é também conhecida na literatura como Inversor Meia Ponte. Existem algumas limitações quanto a sua aplicação, por isso é empregado para pequenas potências.

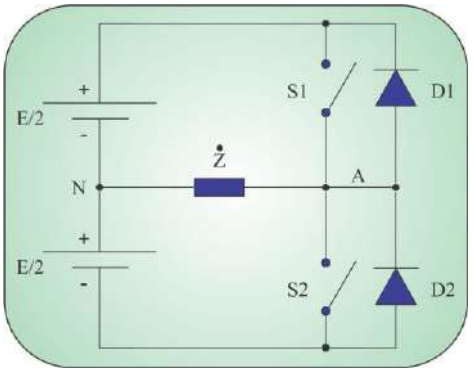



Figura 1. Topologia *Half Bridge* do conversor CC-CA. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

Uma das limitações do *Half Bridge* é que na saída a tensão de pico a pico será no máximo a tensão de barramento CC. Outra limitação é que o barramento de entrada necessita uma fonte com ponto médio, o que não é muito usual,

sendo que para contornar essa característica, utiliza-se um divisor capacitivo resistivo. Ressalta-se que os capacitores devem ter valores elevados de capacitâncias para se ter estabilidade de operação (BOSE, 2001).

A topologia do conversor *Full Bridge* (Fig. 2) é também conhecida na literatura como Inversor de Ponte Completa, sendo largamente utilizada no setor industrial.

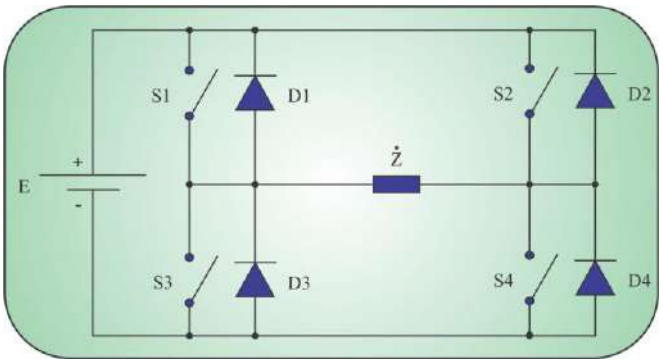



Figura 2. Topologia *Full Bridge* do conversor CC-CA. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

Uma característica de destaque na utilização da modulação proposta é que há uma redução do fator de distorção e das componentes harmônicas de mais baixa ordem da tensão geradas nos conversores CC-CA, diferentemente do que ocorre quando se aplica a modulação PWM linear. (MARTINS, 2014)

## *2.* MODULAÇÃO - SPWM

Nesta seção apresentam-se os conceitos relativos às modulações dois níveis (2N), para isto são utilizadas duas formas de onda, uma conhecida por moduladora e a outra por portadora. A moduladora, ou seja, o sinal modulante é de baixa frequência e do tipo senoidal, enquanto o sinal da portadora é de alta frequência, podendo ser do tipo triangular ou dente de serra. Cabe destacar que $f_m = \frac{1}{T_m}$ e $f_p = \frac{1}{T_p}$ representam as frequências dos sinais da moduladora e portadora, respectivamente.

A primeira característica fundamental na modulação senoidal é a definição do índice de modulação ( $M$ ), que é a relação entre a amplitude máxima da forma de onda senoidal moduladora ( $v_m$ ) e a amplitude máxima da forma de onda da portadora triangular ( $v_p$ ), conforme destacado na Eq. 1.

$$M = \frac{V_m}{V_p} \tag{1}$$

Ressalta-se que o índice $M$ excursiona-se entre 0 e 1. Para $M \leq 1$, a tensão eficaz de saída tem característica linear com o índice de modulação, conforme a Eq. 2.

$$V_{opk} = M.E \tag{2}$$

A partir da Eq. 3, considera-se quanto maior o valor de $m_f$ (número de ciclos por período), mais distante a relação entre os sinais da portadora e moduladora. Ou seja, isso facilita a atenuação de harmônicos do estágio de saída dos conversores CC-CA, pois proporciona o deslocamento das componentes harmônicas do sinal da portadora da fundamental. Cabe ressaltar que há limitações em relação à frequência da portadora, uma vez que este parâmetro se aplica aos interruptores que têm restrições intrínsecas quanto a máxima frequência de operação.

Importante destacar também, que a frequência da moduladora ( $f_m$ ) é o que define a frequência fundamental na tensão de saída dos conversores CC-CA. Ambas as formas de ondas são sincronizadas e a relação entre as duas resulta na definição do $m_f$ , denominado como razão da frequência de modulação, representada pela Eq. 3.

$$m_f = \frac{f_p}{f} \tag{3}$$

O circuito da modulação de dois níveis (também conhecida como SPWM bipolar), representado de forma simplificada na Fig. 3, consiste na comparação de duas formas de onda. Na Fig. 4 apresentam-se os sinais de comparação e os pulsos gerados a partir desta operação (Gate S1 e Gate S2).

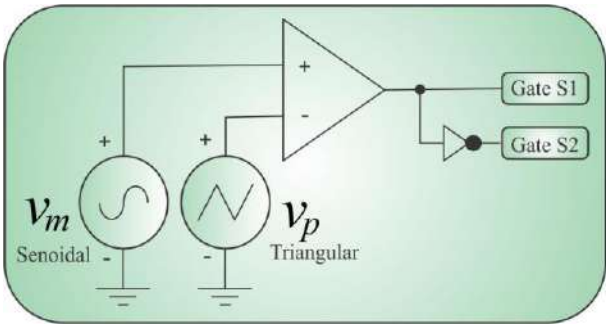



Figura 3. Circuito de modulação 2N. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

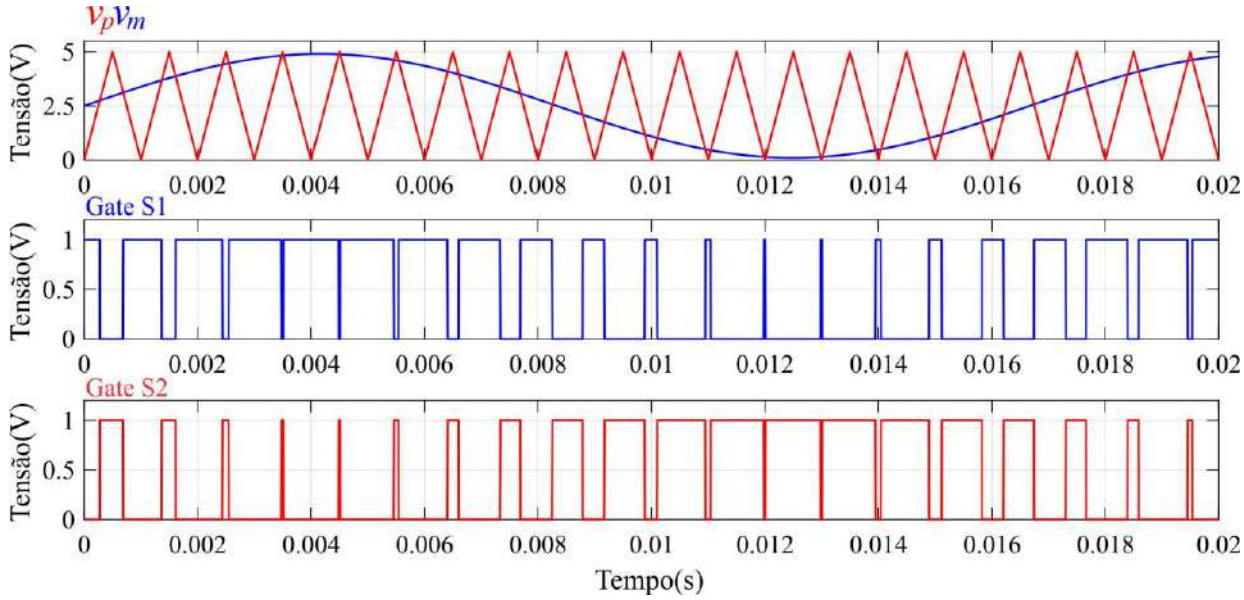



Figura 4. Modulação 2N. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

Quando o valor instantâneo do sinal modulador ($v_m$) for maior que a do sinal da portadora ($v_p$), a condição para o comparador torna-se verdadeira. Caso contrário, quando o sinal da portadora estiver com sua amplitude maior que o da moduladora, observa-se nível lógico baixo no *Gate S1*. Na saída do comparador têm-se os níveis lógicos utilizados para o chaveamento dos Semicondutores.

Para o chaveamento das chaves semicondutoras dos conversores *Half* e *Full Bridge*, representados nas Fig. 1 e 2 através de S1, S2, S3 e S4, utiliza-se a modulação dois níveis conforme apresentada. Na topologia *Full Bridge* o sinal *Gate S1* é aplicado simultaneamente nas chaves S1 e S4, e o *Gate S2* nas chaves S2 e S3.

Nesta aplicação utiliza-se um tempo de atraso entre os chaveamentos, devido as chaves semicondutoras terem um tempo de subida (*rise time*) e um tempo de descida (*fall time*), o que gera algumas limitações relacionadas à frequência máxima de operação. Utiliza-se o tempo morto para evitar que os interruptores de um mesmo braço sejam acionados simultaneamente.

- Característica da modulação 2N para o conversor CC-CA *Half Bridge*

Considerando o conversor CC-CA *Half Bridge* (Fig. 1) e utilizando a modulação dois níveis têm-se as Eq. 4 e 5 representando os níveis de tensão na saída do conversor.

$$v_o = +\frac{E}{2} \text{ para } v_m > v_p \tag{4}$$

$$v_o = -\frac{E}{2} \text{ para } v_m < v_p \quad (5)$$

- Característica da modulação 2N para o conversor CC-CA *Full Bridge*

A partir do conversor CC-CA *Full Bridge*, indicado na Fig. 2, e empregando a modulação dois níveis apresentam-se nas Eq. 6 e 7, os níveis de tensões na saída do conversor referente ao estágio de potência.

$$v_o = +E \text{ para } v_m > v_p \quad (6)$$

$$v_o = -E \text{ para } v_m < v_p \quad (7)$$

## *3.* IMPLEMENTAÇÃO DA MODULAÇÃO SPWM

Neste trabalho utiliza-se um microcontrolador para a geração da modulação de dois níveis, dedicado ao chaveamento dos semicondutores. A utilização de microcontroladores é muito útil por ter uma arquitetura praticamente autossustentável para o seu funcionamento, ou seja, memória, oscilador, conversores A/D e D/A, *gate driver*, e muitos outros módulos integrados como: PWM, PWM complementar, *timers*, *Flip-Flops* e *Latches* ajustáveis via *software*. (MikroElektronika, 2000).

A geração da modulação de dois níveis com o microcontrolador pode ser feita de inúmeras formas, uma delas é utilizar um microcontrolador que contenha módulos específicos de PWM complementar, o que facilita a aplicação. Entretanto, utiliza-se o microcontrolador PIC16F877A que por não contêm o módulo de PWM complementar, realiza-se a geração da modulação via *software* a partir do *timer 0*.

Para o ajuste do ciclo de trabalho utiliza-se como referência um sinal senoidal de 60Hz com *offset* para excursionar o sinal de 0 a 5V, que é lido pelo conversor analógico digital do microcontrolador. Com a geração personalizada da modulação via *software*, gera-se um tempo de atraso entre cada chaveamento, conhecido na literatura como tempo morto.

O sinal modulador senoidal de referência é o que define a variação da razão cíclica do conversor, desta forma, o índice de modulação é feito através do ajuste do sinal de referência senoidal.

Exemplificando a configuração final do *overflow* com o *timer 0*, na Eq.8 está o cálculo utilizado para essa definição, sendo configurado o *prescale* 2:1, TMR0 = 156 e o ciclo de trabalho: T = 0,25 $us$ devido ao cristal utilizado ser de $16MHz$ . O overflow calculado na Eq. 8 obtém uma frequência de modulação de 12,7 $kHz$ .

*Overflow* = *prescale*.T.(TMRO + 1) = 78,5 $us$ (8)

### 3.1 Resultados Experimentais

No projeto da placa de comando foi utilizado um microcontrolador PIC16F877A, sendo o recurso que estava disponível em laboratório. Na Fig. 5 estão apresentados o layout final e o protótipo da PCB de comando.

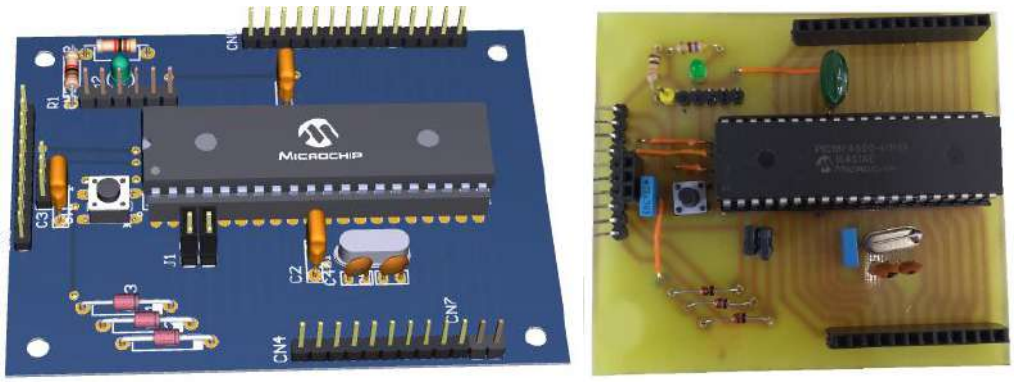



Figura 5. PCB de comando. Fonte: Elaborada pelo autor.

Para validar o código desenvolvido foram testados em bancada os pulsos da modulação e o tempo morto intrínseco entre os sinais complementares que é de 0,25 $us$, ou seja, um ciclo de trabalho do microcontrolador. O funcionamento do tempo morto assegura um intervalo para conseguir desabilitar o pulso que estiver em nível lógico alto e em sequência habilitar o pulso complementar. Desta forma, evita-se que os semicondutores do mesmo braço sejam habilitados de forma simultânea, o que possam acarretaria um curto circuito.

Na Fig. 6 estão os sinais de PWMs complementares no intervalo de tempo onde o índice de modulação é M=0; usa-se este baixo índice de modulação para verificar o comportamento dos PWMs. Idealmente, o PWM do canal 1 deveria estar com o nível lógico baixo em todos os períodos amostrados, mas não ocorre essa situação, pois configurou-se um atraso fixo de 8.4 $us$ para compor o tempo morto.

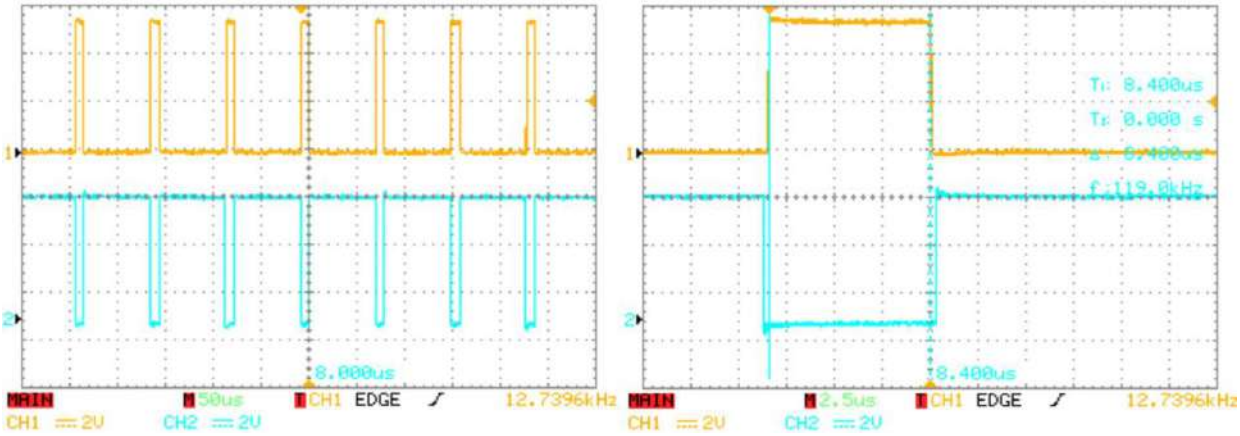



Figura 6. PWM complementar com índice de modulação M=0. Fonte: Elaborada pelo autor.

Na mesma analogia, verifica-se o comportamento dos PWMs complementares entre si, com um índice de modulação M=1. Na Fig. 7 percebe-se nitidamente o tempo de um ciclo de máquina para conseguir alternar os sinais dos PWMs complementares, e que primeiro o sinal que estiver em nível lógico alto é configurado em nível lógico baixo para posterior no seu complementar ser configurado em nível lógico alto.

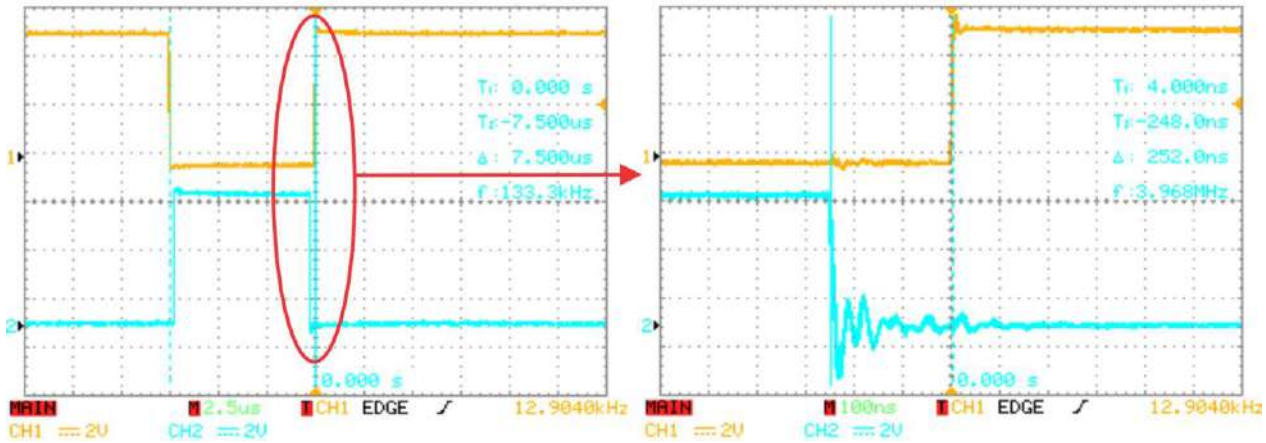



Figura 7. PWM complementar com índice de modulação M=1. Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o acionamento das chaves semicondutoras prevê-se a utilização de dois optoacopladores 4N25 na placa de controle, a fim de isolar o circuito de comando e de potência. Utiliza-se ainda, um driver dedicado (IRF2112) para o acionamento dos interruptores de potência.

O microcontrolador PIC utiliza níveis lógicos de 0 a 5V, sendo que para o driver IR2112 até 6V é interpretado como nível lógico baixo, e para valores acima de 9.5V até a tensão máxima de alimentação do CI como níveis lógicos altos.

Os optoacopladores são constituídos no mesmo encapsulamento por um fotodiodo e um fototransistor. O fototransistor é interligado na configuração de coletor comum e está longe da definição de um interruptor ideal. Desta forma, na Fig. 8 observam-se as características dos sinais de comandos do microcontrolador PIC e os obtidos na saída dos optoacopladores.

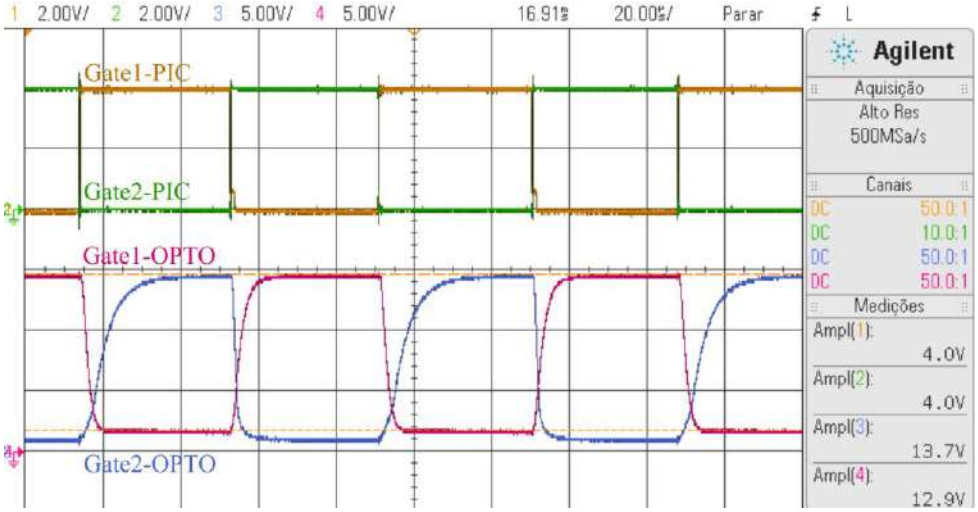



Figura 8. Sinais de comandos da modulação 2N. Fonte: Elaborada pelo autor.

Os sinais de comando na saída dos optoacopladores têm uma característica exponencial devido à recuperação reversa, que está relacionada a dinâmica das capacitâncias contidas na região de depleção formada pelos elétrons e lacunas.

## 4. CONCLUSÃO

Demostrou-se a simplicidade da geração da modulação por largura de pulsos de dois níveis, sendo que se consegue com essa modulação aplicar-se para as duas topologias de conversores *Half* e *Full Bridge*. Apresentou-se as limitações encontradas de software na geração dos sinais PWM complementares. O tempo gasto em verificações em *software* é contornado como tempo morto, sendo que o tempo morto é imprescindível para aplicações em que a carga tenha características indutivas. Com a Fig. 8 conseguiu-se comprovar o funcionamento da modulação SPWM, e nela está comparada a integridade dos sinais na saída do microcontrolador PIC e dos optoacopladores. Em aplicações que se utiliza o driver IRF2112 para acionar os "braços" de semicondutores como nos conversores CC-CA, e tendo os sinais de comando semelhantes aos dos sinais na saída dos optoacopladores, poderá ser ocasionando pequenos atrasos devido o driver interpretar sinal lógico alto a partir de 9,5V.

## 5. REFERÊNCIA

BARBI, I, 2014. Projeto de fontes chaveadas. 3. ed. Florianópolis: UFSC.

BOSE, B. K.,2001. Modern power electronics and AC drives. 1 ed.. ed. [S.l.]: Prentice Hall. ISBN 0130167436.

MARTINS, D. C.; BARBI, I., 2011. Introdução ao estudo de conversores CC-CA. 3. ed. Florianópolis: UFSC. 490 p.

MIKROELEKTRONIKA, 2000. PIC Microcontrollers Programming in C. Jul. 2019 <https://www.mikroe.com/ebooks/pic-microcontrollers-programming-in-c/introduction-tothe-world-of-microcontrollers>.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DEDUÇÃO DE FILTRO LC PARA CONVERSORES CC-CA MONOFÁSICO *HALF BRIDGE*

**Cristiano Facco**
**Fabrício Hoff Dupont**
**Gleyson Luiz Piazza**
Unochapecó – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Câmpus de Chapecó. Rua Servidão Anjo Guarda, 295-D, Efapi, Chapecó - SC.
facco_2010@unochapeco.edu.br, fhd@ieee.org, gleyson@unochapeco.edu.br.

**Theyllor Hentschke de Oliveira**
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Avenida. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria – RS.
theyllor@gedre.ufsm.br.

***Resumo:*** *O intuito deste trabalho é a elaboração e demonstração da dedução de um filtro LC para o conversor CC-CA senoidal monofásico Half Bridge, devido às inúmeras aplicações em equipamentos como: no-breaks e inversores para o controle de velocidade de motores. A topologia do conversor justifica-se devido a sua simplicidade e versatilidade em aplicações de baixa potência e de implementação. A partir das etapas de funcionamento do conversor e da análise matemática obtêm-se os ângulos de maiores ondulações de corrente e de tensão no funcionamento do conversor, e com isso, simplificam-se as equações do cálculo da indutância e capacitância do filtro LC de saída do conversor, a fim de melhorar a eficiência da estrutura. Dimensiona-se e implementa-se o conversor a partir de parâmetros estabelecidos como potência e ondulações de saída para a demonstração da aplicação, comprovando-se as deduções e simplificações das equações para o filtro de saída. Através dos resultados experimentais comparam-se os dados aferidos com os parâmetros estipulados, demonstrando o correto funcionamento e robustez do filtro.*

***Palavras chave:*** *Conversor CC-CA, Modelagem de Filtro LC, Modulação dois níveis, Half Bridge.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os conversores CC-CA, ou inversores, são responsáveis por transformar tensões ou correntes contínuas em sinais alternados. Devido à característica de chaveamento dos semicondutores envolvidos, frequência e modulação utilizada no chaveamento, observa-se um elevado conteúdo harmônico de saída (MICHELS, 2005). É de conhecimento que este efeito é indesejado na maioria das aplicações e especificamente para os conversores CC-CA. Sendo assim, é necessário a implementação de um filtro para redução de harmônica, permitindo que a carga esteja submetida à frequência fundamental.

Considerando conversores comerciais, algumas normas devem ser atendidas, como é o caso da normativa 61000-3-2 (IEC, 2018) e da normativa PRODIST - Módulo 8 (ANEEL, 2016). A normativa da PRODIST estabelece que para sistemas de até 1000V, a taxa de distorção de harmônicas não deva ultrapassar 10% da componente fundamental. Para minimizar estes percentuais são aplicados filtros que tem por objetivo reproduzir uma tensão de saída com característica senoidal de baixa ondulação.

A finalidade deste trabalho é a modelagem do filtro LC de saída do conversor CC-CA senoidal monofásico *Half Bridge* aplicado para uma carga puramente resistiva. Na Fig. 1 está representado, de forma simplificada, o filtro LC e a carga resistiva.

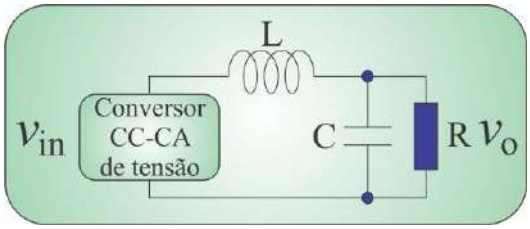



Figura 1. Filtro de saída LC passa-baixa, com carga resistiva R. Fonte: Elaborada pelo autor.

No filtro LC, o indutor em série (L) tem uma reatância finita para componentes harmônicas de frequências elevadas e para a frequência fundamental uma reatância idealmente igual a zero. O capacitor em paralelo com a carga tem uma reatância idealmente finita para a componente fundamental e para as harmônicas de ordens elevadas, uma reatância idealmente nula.

## *2.* CONVERSOR CC-CA MONOFÁSICO *HALF BRIDGE*

Na literatura, o conversor CC-CA *Half Bridge*, também é conhecido por conversor meia ponte e sua aplicação é destinada para aplicações de baixa potência, pois os níveis da tensão de saída é no máximo o valor do barramento CC. Outra limitação é que a topologia precisa uma entrada de barramento em ponto médio, o que não é muito usual, sendo que para contornar esta característica, geralmente utiliza-se um divisor capacitivo resistivo. Na Fig. 2 representa-se de forma simplificada a topologia abordada (MARTINS, 2014).

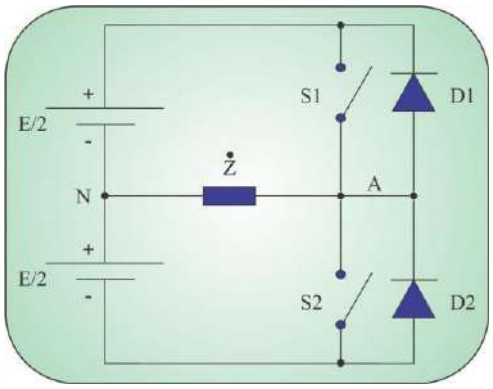



Figura 2. Topologia *Half Bridge* do conversor CC-CA. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

Para o chaveamento dos MOSFETs, representados na Fig. 2 através de S1 e S2, utiliza-se a modulação dois níveis, caracterizada por dois sinais PWM, um complementar ao outro e um sinal modulador senoidal de referência, o qual define a variação da razão cíclica. Em algumas aplicações emprega-se um tempo de atraso entre os chaveamentos, devido as chaves semicondutoras terem um tempo de subida (*rise time*) e um tempo de descida (*fall time*), o que gera limitações relacionadas à frequência máxima de operação.

Na Fig. 3 representam-se as quatro possíveis etapas de operação, considerando para tal, o conversor com o filtro LC e uma carga puramente resistiva.

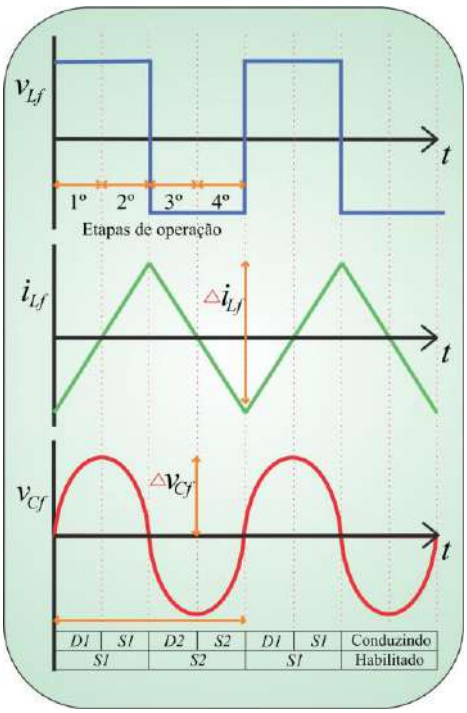


Figura 3. Formas de onda para o conversor CC-CA Half Bridge, com filtro LC e carga puramente resistiva. Fonte: Elaborada pelo autor.

## 2.1 Indutor do filtro LC para o conversor CC-CA *Half Bridge*

Através da Fig. 2, inicia-se o dimensionamento do indutor que compõe o filtro LC de saída do conversor CC-CA *Half Bridge*.

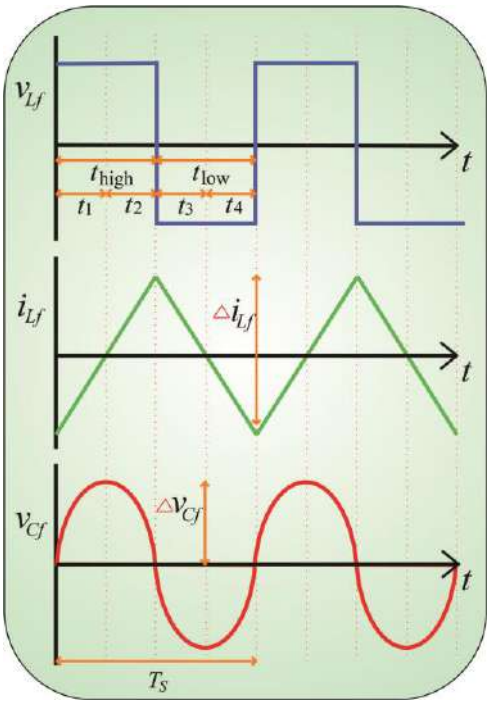



Figura 4. Forma de onda do filtro de saída LC passa-baixa. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

Para o equacionamento do filtro, considera-se que o período da tensão $V_{AN}$, ilustrado na Fig. 2, seja igual ao período de comutação ($T_s$). A equação $v_{L_f}(t) = L_f \dfrac{di_{L_f}(t)}{dt}$ representa a característica da tensão no indutor e considerando que o conversor apresente uma frequência de operação elevada e ainda que exista uma pequena variação de corrente sobre o elemento magnético, aproxima-se a equação terminal do indutor por $v_{L_f}(t) = L_f \dfrac{\Delta i_{L_f}}{\Delta t}$.

Observando as duas etapas de operação da tensão no indutor, nos tempos $t_{high}$ e $t_{low}$ (Fig. 4), obtêm-se as expressões características de operação, representadas nas Eq. 1 e 2 por $v^1_{L_f}$ e $v^2_{L_f}$, respectivamente. Ressalta-se que seja assumida uma tensão de saída senoidal cujo valor de pico seja representado por $V_{opk}$. (GERENT, 2005)

$$\begin{cases} v^1_{L_f} = E/2 - V_{opk}.sen(\omega t) \\ v^2_{L_f} = -E/2 - V_{opk}.sen(\omega t) \end{cases} \tag{1}$$

$$\begin{cases} E/2 - V_{opk} sen(\omega t) = L_f \dfrac{\Delta i^1_{L_f}}{\Delta t_1} \\ -E/2 - V_{opk} sen(\omega t) = L_f \dfrac{\Delta i^2_{L_f}}{\Delta t_2} \end{cases} \tag{2}$$

Isolando $\Delta t_{high}$ e $\Delta t_{low}$ das Eq. 1 e 2, reescrevem-se as Eq. 3 e 4.

$$\Delta t_{high} = \frac{L_f \Delta i_{L_f}^1}{E - V_{opk}.sen(\omega t)} \tag{3}$$

$$\Delta t_{low} = \frac{L_f \Delta i_{L_f}^2}{-E - V_{opk}.sen(\omega t)} \tag{4}$$

Sendo que $T_s = \Delta t_{high} + \Delta t_{low}$ substituem-se nessa expressão as Eq. 3 e 4, resultando na Eq. 5.

$$T_s = \Delta i_{L_f} L_f \frac{\left(-E/2 - V_{opk} sen(\omega t) + \left(E/2 - V_{opk} sen(\omega t)\right)\right)}{(E/2 - V_{opk} sen(\omega t)).(-E/2 - V_{opk} sen(\omega t))} \tag{5}$$

Para obter a variação máxima da corrente no indutor realiza-se a derivada da parametrização entre a Eq. 5 com a variação média da corrente no indutor, resultando na equação $\overline{\Delta i_{L_f}} = \frac{2\Delta i_{L_f} L_f f_S}{E}$.

De outra forma, analisando graficamente a Fig. 4, constata-se que a máxima corrente positiva acontece no intervalo $t_2$ e nessa etapa, obtém-se a tensão $v_{L_f}^1$, ou seja, a primeira expressão da Eq. 1. A partir de manipulações matemáticas utilizando a equação $D(\omega t) = \frac{1}{2} + \frac{v_{opk} sen(\omega t)}{E}$, que representa a razão cíclica do conversor, a equação oriunda do LKT da primeira etapa de operação $E = R.i_o(t) + L.\frac{di_o(t)}{dt}$ e o índice de modulação M, definido pela multiplicação do sinal modulador com o sinal inverso da portadora, tem-se a Eq. 8.

$$\frac{\Delta i_{L_f} L_f}{D(t) T_s} = \frac{E}{4} - \frac{E}{4} M sen(\omega t) \tag{6}$$

O termo à esquerda da igualdade na Eq. 6 pode ser definido como a ondulação da corrente normalizada (Eq. 7 e 8).

$$\overline{\Delta i_{L_f}} = \frac{1}{4} - \frac{1}{4} M^2 sen^2(\omega t) \tag{7}$$

$$\overline{\Delta i_{L_f}} = \frac{\Delta i_{L_f} L_f}{T_s E} \tag{8}$$

Isolando a indutância da Eq. 6, tem-se a equação $L_f(\omega t) = \frac{E}{4\Delta i_{L_f} f_S}(1 - M^2 sen^2(\omega t))$.

Plotando a Eq. 6 avalia-se a máxima ondulação de corrente parametrizada e tendo o índice de modulação como parâmetro, visualiza-se que a máxima ondulação acontece em 0º e 180º, conforme representado na Fig. 5.

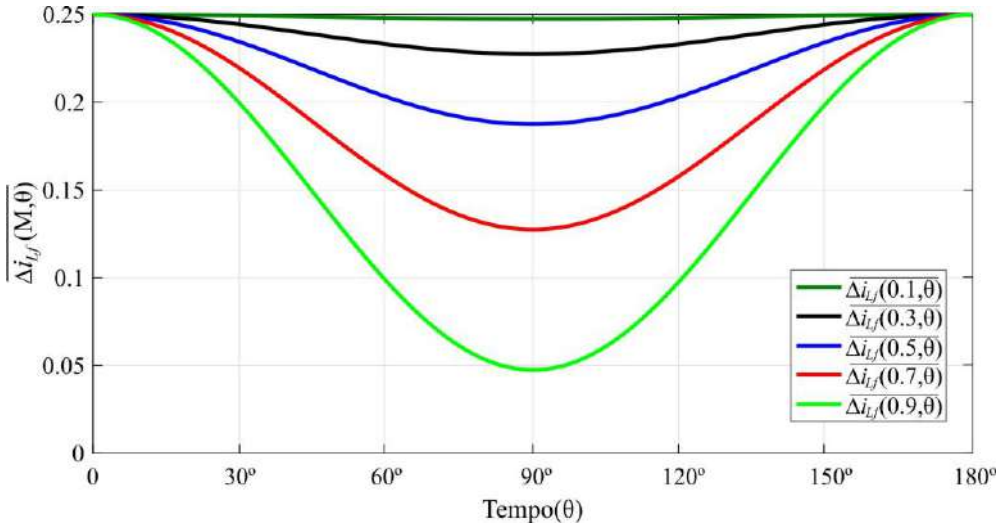



Figura 5. Ondulação de corrente média sobre o indutor do filtro LC para a topologia *Half Bridge*. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

Através da Fig. 5 e da Eq. 11, calcula-se a indutância relacionada à máxima ondulação de corrente possível, ou seja, em 0º e 180º, resultando na Eq. 9.

$$L_f(\omega t) = \frac{E}{4\Delta i_{L_f} f_S} \tag{9}$$

### 2.2 Capacitor do filtro LC para o conversor CC-CA *Half Bridge*

A capacitância do filtro de saída LC é definida em relação à ondulação máxima de tensão, que está relacionada à ondulação da corrente no indutor $L_f$. Observando a Fig. 4, nota-se que a variação da carga do capacitor está relacionada à variação de tensão. Segundo BARBI (2014), deseja-se que todas as componentes de alta frequência circulem pelo capacitor, desta forma, calcula-se a capacitância a partir da variação de carga do mesmo e a variação máxima da tensão $\Delta v_{C_f}$, conforme destacado na Eq. 10.

$$\Delta q = C_f \cdot \Delta v_{C_f} \tag{10}$$

A carga do capacitor é definida pela equação $q = \frac{1}{2} \cdot i \cdot t$. Sabe-se que a variação de corrente no capacitor em um semiciclo é a mesma do indutor. Dessa forma tem-se a Eq. 11.

$$\Delta q = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta i_{Lf}}{2} \cdot \frac{T_s}{2} \tag{11}$$

Substituindo-se Eq. 11 em 9, obtém-se a Eq. 12.

$$\frac{1}{8} \cdot \frac{\Delta i_{L_f}}{f_s} = C_f \cdot \Delta v_{C_f} \tag{12}$$

Conforme salientado, a variação de tensão no capacitor está relacionada à variação de corrente no indutor, possibilitando substituir a Eq. 12 na Eq. 9, resultando na Eq. 13. Representa-se graficamente a Eq.13 através da Fig. 6 e observa-se que a máxima variação de tensão ocorre em 0º e 180º.

$$\Delta v_{C_f} = \frac{E(1 - M^2 sen^2(\theta t))}{32 f_s^2 C_f L_f} \tag{13}$$

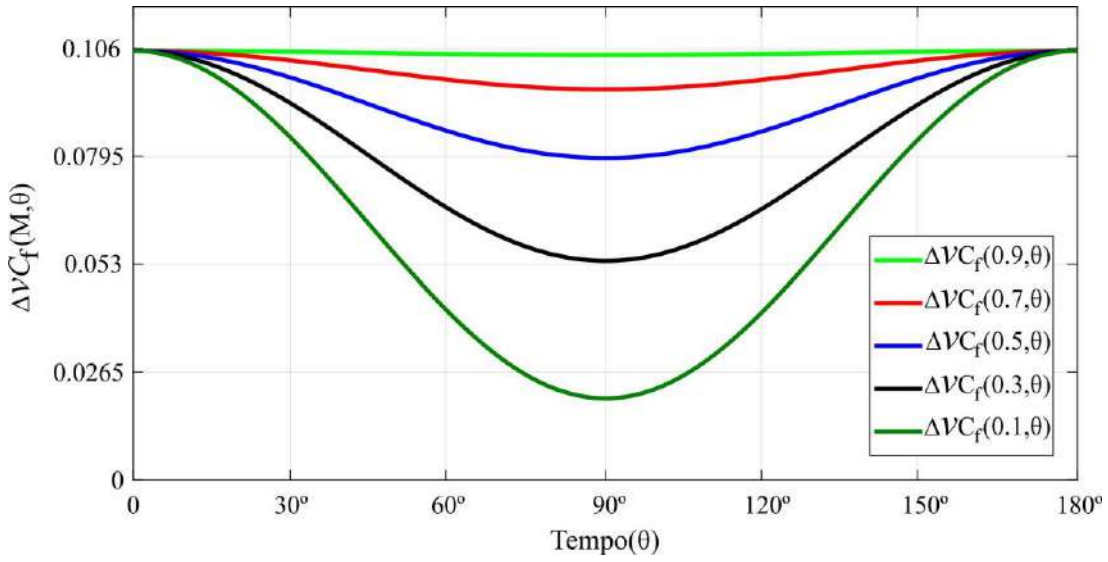



Figura 6. Ondulação de tensão sobre o capacitor do filtro LC na topologia *Half Bridge*. Fonte: Adaptada de MARTINS e BARBI (2011).

Resolvendo a Eq. 13 para $\theta = 0^o$ e isolando $C_f$, resulta a Eq. 18 que define a capacitância mínima para atender a ondulação de tensão na saída do conversor CC-CA *Half Bridge*.

$$C_f = \frac{E}{32 f_s^2 \Delta v_{C_f} L_f} \tag{14}$$

## 3. VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL

Como critérios comprobatórios da dedução desenvolvida, implementou-se um protótipo de um conversor CC-CA *Half Bridge* para testes em bancada.

Na Tab. 1 estão alguns parâmetros utilizados no projeto do conversor CC-CA, para os devidos dimensionamento e implementações práticas.

Tabela 1. Definição dos parâmetros de projeto. Fonte: Elaborada pelo autor.

| Parâmetros | Valor dos parâmetros de projeto |
|---|---|
| Tensão de barramento CC | $E = 30V$ |
| Tensão eficaz de saída | $v_o = 7,5V$ |
| Tensão de pico a pico da portadora | $V_p = 5V$ |
| Tensão de pico a pico da moduladora | $V_{mpk} = 3,54V$ |
| Frequência de chaveamento | $f_p = 12,7kHz$ |
| Frequência da moduladora | $f_m = 60Hz$ |
| Potência de saída | $P = 50W$ |
| Ondulação da tensão na saída | $\Delta v_o = 1\%$ |
| Ondulação da corrente na saída | $\Delta i_o = 15\%$ |

O esquemático da implementação do circuito de potência, de *BootStra*p e o protótipo estão representados das Fig. 7, 8 e 9, respectivamente. Os sinais de comando da modulação de dois níveis foram gerados por um microcontrolador PIC.

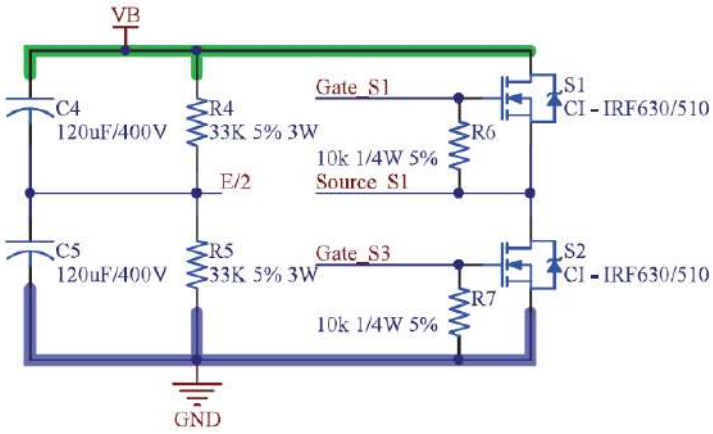



Figura 7. Esquemático do circuito de potência do conversor CC-CA *Half Bridge*. Fonte: Elaborada pelo autor.

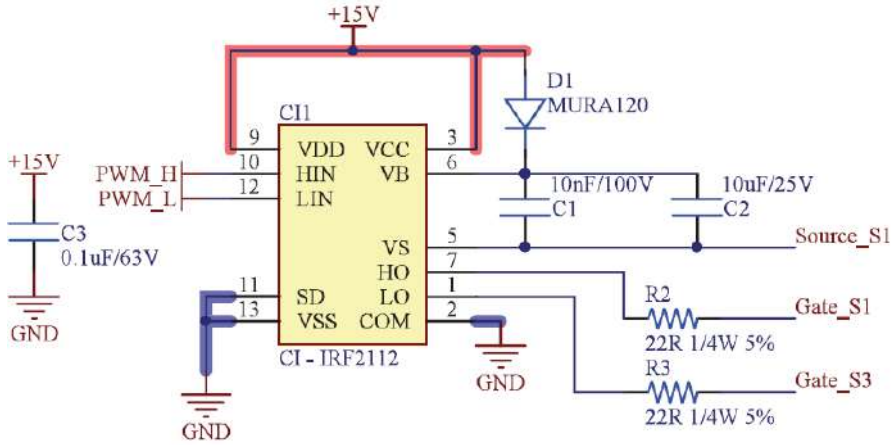



Figura 8. Esquemático do circuito de *BootStrap* do conversor CC-CA *Half Bridge*. Fonte: Elaborada pelo autor.




Figure 9. PCB de potência do conversor CC-CA *Half Bridge*. Fonte: Elaborada pelo autor.

Como o objetivo de validar o desenvolvimento teórico apresentado anteriormente, analisam-se os dados obtidos nas etapas do projeto e os dados experimentais. Para isso, os parâmetros para ser analisado é a ondulação de corrente e tensão no sinal senoidal de saída. Demostrado na Fig. 10 os dados experimentais obtidos em testes de bancada e na Tab. 2 as comparações e os cálculos dos erros de tensão, corrente eficaz, as ondulações de corrente e tensão de saída.

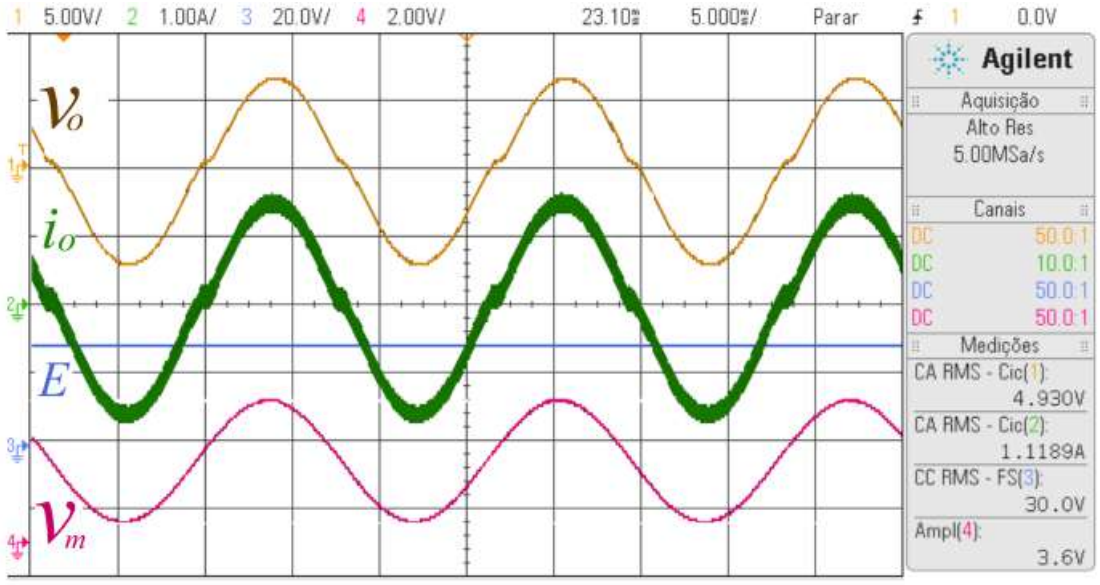



Figura 10. Dados experimentais do conversor CC-CA *Half Bridge*, com filtro LC e carga resistiva. Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tab. 2 apresentam-se as comparações dos dados projetados e obtidos experimentalmente com o protótipo do conversor.

Tabela 2. Dados projetados e experimentais obtidos no projeto do conversor. Fonte: Elaborada pelo autor.

| | **Projetado** | **Experimental** | **Erro** |
|---|---|---|---|
| $v_{oefz}$ | 5,1567[V] | 4,93[V] | 4,39[%] |
| $i_{oefz}$ | 1,180[V] | 1,1189[V] | 5,14[%] |
| $\Delta i_o$ | 354[mA] | 342,5[mA] | 3,24[%] |
| $\Delta v_o$ | 106[mV] | 105[mV] | 1[%] |

## 4. CONCLUSÃO

Desenvolveram-se primeiramente as deduções do filtro LC para o conversor CC-CA *Half Bridge*, considerando a modulação de dois níveis e uma tensão de saída com característica senoidal. Em seguida, as equações deduzidas foram representadas graficamente, auxiliando na simplificação e comparação com as derivadas demostradas para representar as máximas variações de tensão e corrente na saída do conversor de tensão senoidal. Com os dados apresentados na Fig. 10 e Tab. 2, validam-se as deduções e simplificações realizadas para as máximas ondulações de tensão e corrente na carga. Nestas comparações obteve-se na ondulação de corrente um erro de 3,24% dos valores projetados e os obtidos experimentalmente, e a variação da ondulação de tensão na carga ficou em torno de 1%.

## 5. REFERÊNCIA

ANEEL, A. N. de E. E., 2016 Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST. Ago., 2019. Disponível em: <www.aneel.gov.br>.

BARBI, I. Projeto de fontes chaveadas. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2014. 304 p.

IEC. IEC 61000-3-2:2018. 5. ed. [S.l.], 2018.

MARTINS, D. C.; BARBI, I. Introdução ao estudo de conversores CC-CA. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2011. 490 p.

GERENT, H. F., 2005. Metodologia de projeto de inversores monofásicos de tensão para cargas não-lineares. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Jul. 2019 <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102528/223393.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MICHELS, L. et al. Metodologia de projeto de filtros de segunda ordem para inversores de tensão com modulação pwm digital. Revista Controle & Automaçãao, v. 16, n. 2, 2005.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO E ANÁLISE DE UM CONVERSOR CC-CC BUCK-BOOST COM APLICAÇÃO DE MÉTODO DE RASTREAMENTO DE MÁXIMA POTÊNCIA

**Lucas Engel**
**Adilson Luís Stankiewicz**
Engenharia Elétrica, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI-Erechim, 331, KM 2, ,Bairro Demoliner, Erechim, RS.
Email: glucas.engel@gmail.com, adilsonluis@uricer.edu.br.

***Resumo:*** *Este artigo se dedica ao projeto e análise de um conversor estático CC-CC Buck-Boost com aplicação de método de rastreamento de ponto de máxima potência (MPPT), visando encontrar o melhor método para o aumento da eficiência do conjunto de geração de energia fotovoltaica. Através do recurso denominado MPPT, que consiste no controle da variação de razão cíclica da chave do conversor, de modo que se atinja o ponto ótimo de operação. Com esse sistema, é possível extrair o máximo de energia do painel, reduzindo efeitos como variações de irradiação e de temperatura. Através da modelagem matemática da célula fotovoltaica e do conversor Buck-Boost, simulou-se o sistema de geração utilizando-se de três topologias clássicas de MPPT, o Perturba e Observa, Condutância Incremental e o Temperatura por meio do software PSIM. Por fim efetuou-se a aplicação dos métodos selecionados visando encontrar qual dentre eles possui um maior fator de rastreamento do ponto de máxima potência. O melhor resultado encontrado foi utilizando o método Condutância Incremental provocando um aumento na eficiência de geração do sistema fotovoltaico.*

***Palavras chave:*** *Rastreamento de Máxima Potência, Conversor CC-CC Buck-Boost, Geração Fotovoltaica.*

## 1. INTRODUÇÃO

A superfície da Terra recebe anualmente uma quantidade de energia solar, nas formas de luz e calor, suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais durante o mesmo período. Apenas uma pequena parcela dessa energia é aproveitada (Villalva, 2014). Também pode-se ressaltar que o século XX foi marcado pela utilização de combustíveis fósseis como principal fonte de energia para impulsionar o progresso de nossa sociedade tecnológica. Com os problemas ambientais causados por tal matriz e uma necessidade urgente de minimizar os impactos causados por tais opções, adveio a necessidade de se obter fontes mais "limpas" e renováveis de energia (Stankiewicz, 2013).

Um dos fatores que potencializam o uso da geração fotovoltaica, é a diminuição do custo dos painéis fotovoltaicos e ao aumento de sua eficiência, fazendo com que estes sistemas de geração possam ser candidatos comparáveis como fontes de energia elétrica para a humanidade (Yu, Jung, Choi, e Kim, 2004).

Embora a sua participação seja pequena a nível global, a capacidade instalada tem crescido de maneira exponencial no período de 2010 a 2017, chegando a 415 GWp de potência instalada no mundo, segundo o relatório fotovoltaico anual de 2018 do Instituto de Franhofer (ISE, 2018). Atribui-se esse crescimento exponencial de potência instalada a reduzido impacto ambiental, amadurecimento tecnológico, rápida implantação e sua grande disponibilidade, diferentemente das principais fontes energéticas de geração atuais.

Apesar de todas as vantagens apresentadas por esta forma de geração, a eficiência da conversão de energia dos painéis ainda é baixa e o custo inicial para sua implantação é considerada relativamente elevada (Brito, Junior, Sampaio e Canesin, 2010). De acordo com Chafle e Vaidya (2013), a geração fotovoltaica possui dois problemas principais: a eficiência de conversão da geração é muito baixa (entre 9% e 17%) e a quantidade de energia elétrica gerada pelos painéis solares muda constantemente com as condições climáticas.

Para que esta forma de geração seja competitiva economicamente em relação as demais, os sistemas de geração fotovoltaica utilizam controladores de carga que internamente possuem conversores CC-CC (Corrente Contínua para Corrente Contínua), para regular a carga na bateria prolongando assim sua vida útil, e além disso, alguns modelos possuem a função de aumentar a eficiência do painel fotovoltaico por meio de um recurso denominado Rastreamento de Ponto de Máxima Potência MPPT (do inglês *Maximum Power Point Tracking*). Com esse recurso, é possível extrair o máximo de energia do painel, reduzindo efeitos como sombreamento, por exemplo, durante a geração. No entanto, apesar de elevar a eficiência do módulo, o custo de aquisição destes equipamentos é elevado.

Diante disso, estudos e investimentos para melhorar a eficiência dos sistemas de geração como um todo vêm sendo realizados visando assim reduzir os custos de produção de energia elétrica.

Este artigo tem como objetivo principal o projeto e a análise de um conversor CC-CC Buck-Boost para simulação e aplicação de método de rastreamento de ponto de máxima potência em sistemas de geração de energia solar fotovoltaica. Realizar-se-á a coleta dos sinais de tensão e corrente na entrada e saída do conversor, determinando-se assim a eficiência de conversão e rastreamento do conversor aplicado a técnica de MPPT.

## 2. METODOLOGIA

Para maximizar a eficiência do sistema, permitindo que o módulo atue dentro dos limites impostos pelas variáveis não controláveis do ambiente externo, utilizando toda a sua capacidade, esforços são feitos com o objetivo de levar o painel fotovoltaico a trabalhar em seu ponto de máxima potência (Collares, 2012). Este estudo propõe o projeto de um conversor Buck-Boost com aplicação dos métodos MPPT Perturba e Observa (P&O), Temperatura e Condutância Incremental (InCond). Determinam-se fatores de mérito de desempenho e busca-se o conjunto com melhor eficiência. O esquemático do sistema proposto pode ser visualizado na Fig. 1.

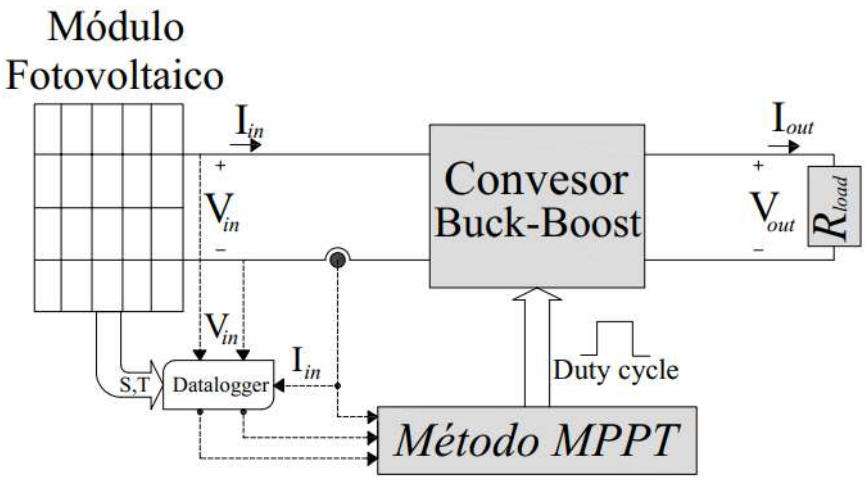



Figura 1. Representação geral do sistema proposto.

### 2.1 Modelagem matemática

A análise do funcionamento experimental de um módulo fotovoltaico, apresenta uma característica não-linear em sua curva de tensão versus corrente, a qual depende fortemente da radiação solar e temperatura. Esse comportamento deve-se ao fato da constituição física da célula fotovoltaica, a qual pode ser representada pelos modelos do diodo único e diodo duplo. Segundo Silva, Bradaschia, Cavalcanti, e Nascimento (2015), o modelo do diodo único demonstrado na Fig. 2 é o mais utilizado na literatura, devido a sua relação entre precisão e simplicidade.

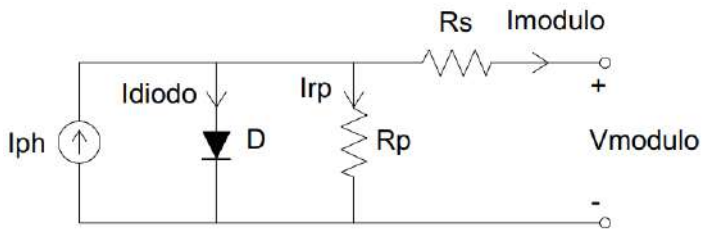



Figura 2. Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica.

O efeito fotoelétrico, que produz uma corrente elétrica é representado por uma fonte de corrente constante $I_{ph}$ na Fig. 2. A junção P-N do silício é modelada como um diodo D no circuito elétrico. As grandezas $I_{modulo}$ e $V_{modulo}$ são a corrente e a tensão nos terminais da célula fotovoltaica e $I_{diodo}$ é a corrente aplicada no diodo D. Para representar as perdas associadas à célula fotovoltaica real são adicionados resistores $R_p$ representado as perdas internas ou por correntes de fuga e $R_s$ que representa as perdas causadas na queda de tensão nos terminais. Esse modelo vem sendo aprimorado

visando a descrição do módulo fotovoltaico para diferentes condições de temperatura e radiação. Devido aos parâmetros físicos intrínsecos do módulo fotovoltaico não serem fornecidos pelo fabricante, é de suma importância a determinação dos mesmos, tais como: resistência série e paralela equivalentes $R_s$ e $R_p$, fator de idealidade do dispositivo A e corrente foto-gerada pela célula $I_{ph}$. A estimação desses parâmetros desenvolveu-se através da técnica de mínimos quadrados não-lineares pelo método numérico de Gauss-Newton, com base na variação da radiação solar a uma temperatura fixa de 25°C (Silva et al., 2015). A partir disto, a corrente de saída de um módulo fotovoltaico pode ser descrita por:

$$I = I_{pv} - I_D - I_{Rp} \tag{1}$$

Sendo:

$$I_{pv} = [I_{sc} + \mu_I \cdot (T - T_r)] \cdot \frac{S}{S_r} \tag{2}$$

$$I_D = \left[ \frac{I_{sc} + \mu_I \cdot (T - T_r)}{e^{\frac{V_{oc} + u_V \cdot (T - T_r) \cdot q}{A \cdot k \cdot T \cdot n_S}} - 1} \right] \cdot \left[ e^{\frac{q \cdot [V + R_S \cdot I]}{A \cdot k \cdot T \cdot n_S}} - 1 \right] \tag{3}$$

$$I_{Rp} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \tag{4}$$

### 2.2 Sistemas rastreadores de ponto de máxima potência

Apesar de todas as vantagens da implantação da geração de energia fotovoltaica em parques industriais e residências, o custo inicial para instalação ainda é elevado e a eficiência de conversão da radiação solar em energia elétrica é baixa. A eficiência do sistema fotovoltaico pode ser melhorada se o gerador conseguir operar no ponto de máxima potência MPP da curva IxV, independentemente das condições climáticas ou de fatores externos como sombreamento. Isto é possível raças às técnicas de MPPT pelas quais o ponto de potência máxima na curva é rastreado eletricamente (Bhatnagar e Nema, 2013).

Todo o esforço para que a extração da máxima potência do painel seja realizada de forma eficiente, se resume em retirar alguns sensores normalmente utilizados em projetos de geradores com MPPT, onde normalmente são componentes caros (Coelho, 2009). Um sistema de rastreamento de máxima potência é composto de duas partes básicas: um algoritmo que recebe as informações do sistema fotovoltaico e uma etapa de potência que atua sob influência do algoritmo de MPPT e se encarrega de solicitar os valores de tensão e corrente que correspondam ao desejado.

Visando a determinação do MPP, três técnicas serão propostas: Perturba e Observa (PeO), Temperatura, Condutância Incremental (Incond). As técnicas foram selecionadas por terem lógicas distintas, facilidade de implementação, número reduzido de sensores e aplicação comercial dos algoritmos.

#### 2.2.1 Perturba e Observa (PeO)

O algoritmo de perturba e observa, também conhecido como método "escalada"(do inglês *hill climbing*),é muito popular e o mais comumente usado na prática devido à sua simplicidade no algoritmo e à facilidade de implementação (Houssamo, Locment, e Sechilariu, 2013).

Segundo Hohm e Ropp (2003), no algoritmo PeO, a tensão de operação do arranjo fotovoltaico é perturbada por um pequeno incremento, e a mudança resulta na variação de potência ΔP, que é medida e armazenada. Se ΔP é positivo, então a perturbação na tensão moveu o ponto de operação do arranjo fotovoltaico para mais perto do MPP. Assim, outras perturbações de tensão na mesma direção (isto é, com o mesmo sinal algébrico) devem mover o ponto de operação em direção ao MPP. Se ΔP for negativo, o ponto operacional do sistema se afastou do MPP, e o sinal algébrico da perturbação deve ser invertido para voltar ao MPP.

Um problema comum nos algoritmos de PeO é que a tensão do terminal do arranjo é perturbada a cada ciclo MPPT. Quando o MPP é atingido, a potência de saída oscila em torno do mesmo, reduzindo a energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Este fato ocorre principalmente em condições atmosféricas constante ou de variação lenta, mas também sob condições atmosféricas que mudam rapidamente (Dolara, Faranda, e Leva, 2009).

#### 2.2.2 Temperatura

Este método baseia-se em medições de temperatura da superfície do painel fotovoltaico para se determinar a tensão do MPP. Esta técnica só é possível pela relação diretamente proporcional entre a tensão nos terminais do módulo fotovoltaico e a temperatura da superfície do mesmo (Coelho, Concer, e Martins, 2010). Está relação é dada pela Eq. (5):

$$V_{mp}(T) = V_{mp}(T_{ref}) + \mu V_{mp}(T - T_{ref}) \quad (5)$$

Conforme Stankiewicz (2013), este método inicia lendo a tensão e a temperatura do painel. A partir destes dados, aplicam-se os valores na Eq. (5) e obtêm-se $V_{mpp}$. Em seguida determina-se a diferença entre a tensão atual do sistema $V_{mod}$ e a tensão $V_{mpp}$ obtida anteriormente. Com base nesta diferença o algoritmo escolhe o passo de alteração da razão cíclica com o objetivo de otimizar a velocidade de convergência ao MPP.

### 2.2.3 Condutância Incremental (Incond)

O algoritmo Incond tem a lógica um pouco mais complexa e leva em consideração a condutância instantânea do módulo em comparação com sua condutância incremental. O método se baseia nas derivadas da curva característica PxV dos painéis solares fotovoltaicos. Pela curva, observa-se que quando o ponto de operação se encontra a esquerda do MPP, o valor da derivada da curva Pmp em relação a tensão $V_{mp}$ assume valor negativo, se o ponto estiver à direita do MPP a derivada assume valor positivo e quando está trabalhando no MPP, assume valor zero. Analisando este comportamento obtemos a Eq. (6), conforme Banu, Beniuga, e Istrate (2013).

$$\begin{cases} dP/dV > 0, para V < V_{mpp} \\ dP/dV = 0, para V = V_{mpp} \\ dP/dV < 0, para V > V_{mpp} \end{cases} \quad (6)$$

Como citado anteriormente uma desvantagem do método PeO é a oscilação do ponto de operação em torno do MPP durante mudanças nas condições ambientais. Esta condição pode ser eliminada no método Incond, comparando a condutância instantânea do painel (Ipv/Vpv) com a condutância do painel incremental (dIpv/dVpv). A voltagem do MPP é rastreada para satisfazer o dPpv/dVpv = 0, que é o MPP (Bhatnagar e Nema, 2013).

Stankiewicz (2013) comenta que tanto no método Incond como no PeO, a velocidade em que o MPP é encontrado dependerá do valor do incremento da tensão de referência. No método da Incond, embora se utilizem sensores de tensão e corrente, a potência não é calculada. A análise do método se baseia apenas na inclinação da curva PxV.

## 2.3 Conversor de energia elétrica CC-CC Buck-Boost

Os conversores CC-CC são utilizados quando a fonte de alimentação disponível é de corrente contínua, cuja função é alimentar uma carga que necessita de alimentação CC ajustável (Arrabaça, 2014). Basicamente, é um circuito eletrônico que, a partir de técnicas de chaveamento de dispositivos semicondutores de potência, converte diferentes níveis de tensão CC em uma saída regulada. Dentre as diversas topologias de conversores CC-CC não isolados encontradas na literatura (CUK, SEPIC, ZETA, Buck, Boost e Buck-Boost), somente o conversor Buck-Boost será abordado, o qual pode ser classificado como conversor de 2° ordem, uma vez que possui um capacitor e um indutor como elementos armazenadores de energia.

Segundo Arrabaça e Gimenez (2014), a transformação de uma fonte de tensão CC fixa em uma fonte de tensão CC ajustável é feita por meio de técnicas de chaveamento, como por exemplo a modulação por frequência (do inglês Frequency Modulation, FM) e a modulação por largura de pulsos (do inglês Pulse-Width Modulation, PWM). O processo mais utilizado atualmente é a modulação por largura de pulsos (PWM).

Como o próprio nome diz, o Buck-Boost é a junção dos conversores Buck e Boost. E este conversor é idealmente utilizado para controlar o fluxo de energia entre uma fonte de tensão e uma carga com características de fonte de tensão. Com relação a topologia, pode-se afirmar que esta possui inversão de polaridade da tensão de saída, como será demonstrado a seguir na análise de funcionamento do mesmo. A vantagem da junção das duas topologias clássicas, é que ele consegue elevar ou rebaixar a tensão de saída Vout com relação a tensão de entrada Vin. Porém esta capacidade faz com que o volume do indutor utilizado seja maior em comparação com outros conversores. A Fig. 3 demonstra o circuito elétrico do conversor Buck-Boost.

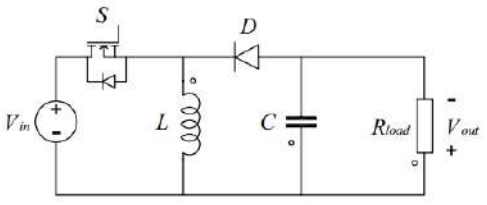



Figura 3. Conversor CC-CC Buck-Boost.

### 2.4 Parâmetros de projeto

Baseou-se em Mohan, Undeland, Robbins (2003), Arrabaça e Gimenez (2014) e Martins e Barbi (2011) para o projeto do conversor Buck-Boost, conforme apresentados na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros calculados.

| Parâmetro | Valor Definido |
|---|---|
| Potência ($P_{out}$) | 100 $W$ |
| Tensão de entrada ($V_{in}$) | 8 $a$ 24 $V$ |
| Tensão de entrada ($V_{out}$) | 12 $V$ |
| Ciclo de trabalho ($D$) | 0,6 $a$ 0,33 |
| Frequência de chaveamento ($f_s$) | 30 $kHz$ |
| Corrente média na saída ($I_{out}$) | 8,33 $A$ |
| Indutor ($L$) | 316 µ$H$ |
| Capacitor ($C$) | 220 µ$F$ |
| Corrente máxima no Indutor ($I_{Lmax}$) | 21,08 $A$ |
| Resistência de Carga ($R$) | 1,44 Ω |

### 2.5 Simulação do sistema de geração

Busca-se nesta etapa simular o conversor implementando os métodos de rastreamento. Para isto, elaborou-se no software PSIM o circuito do conversor juntamente com seu sistema de acionamento. Também se utilizou do modelo de painel fotovoltaico disponibilizado pelo PSIM, afim de emular o comportamento do módulo KD 140SX, utilizando os parâmetros construtivos do mesmo. Os métodos MPPT são implementados no conversor utilizando um bloco de programação em C, também disponibilizado pelo PSIM. O sistema simulado pode ser visualizado na Fig. 4.

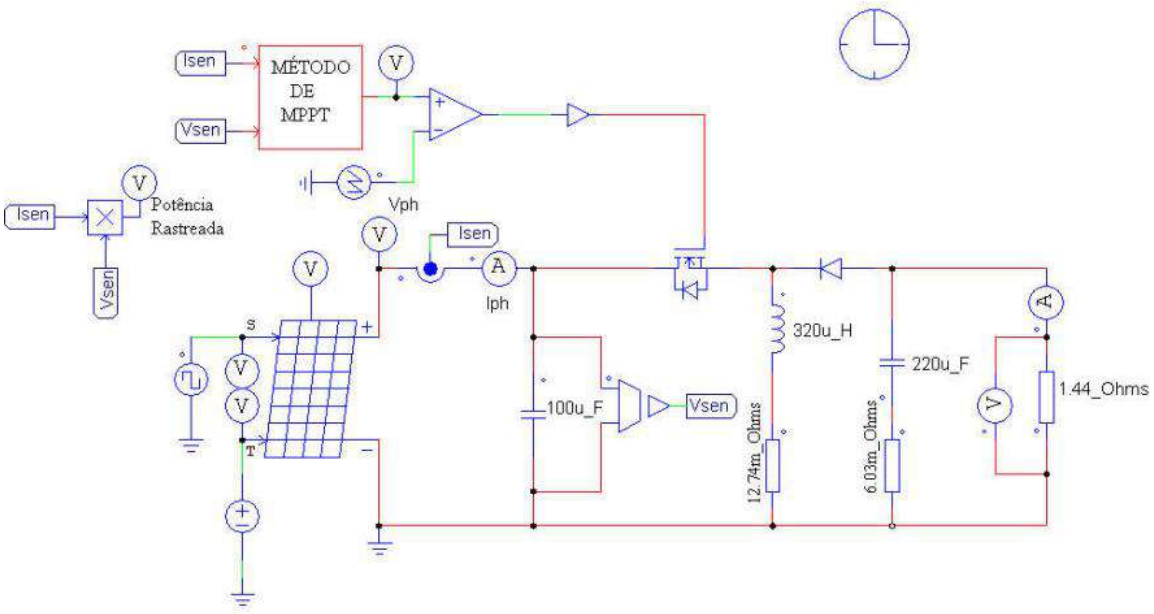



Figura 4. Circuito utilizado para simulação do sistema.

Para obter um resultado ainda mais preciso e condizente com a realidade, considerou-se as impedâncias internas dos componentes armazenadores de energia. Para a determinação da resistência interna do capacitor C, utilizou-se da Eq. (7). Sendo o termo tan δ o fator de dissipação de capacitores eletrolíticos. Este dado foi obtido a partir da folha de dados do fabricante (TDK-Epcos, 2016).

Para o indutor *L* apenas realizou-se a medição da impedância do elemento utilizando de um multimedidor LCR digital Minipa MC-155, encontrando 12,74 mΩ de resistência no seu enrolamento. Inseriu-se um capacitor de barramento que conforme ilustra a Fig. 4, está conectado aos terminais do módulo. Sua implementação caracteriza o painel fotovoltaico como uma fonte de tensão. Seu valor é definido empiricamente, sendo a capacitância necessária para este circuito de 100 µF.

$$R_S = \frac{\tan\delta}{2\pi f_S C} \tag{7}$$

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, os métodos foram submetidos a uma variação de irradiação na forma de degrau, porém com uma temperatura constante. De igual forma, os métodos também foram submetidos a variação temperatura, contudo agora com a irradiação com valor fixo. E por último, aplicou-se uma variação de irradiação e temperatura nas formas de rampas simultâneas defasadas entre si. Procura-se avaliar o comportamento individual de cada método conforme variações das entradas de irradiação e temperatura. Para tanto, deve-se determinar alguns critérios de análise e comparação. O padrão mais importante a ser avaliado, é o fator de rastreamento do método TF (do inglês *Tracking Factor*), uma vez que ele indica a quantidade de energia que foi efetivamente convertida. A ondulação na potência, ou *ripple*, em regime permanente também é considerado, já que o painel deve permanecer atuando dentro do MPP. E por fim o tempo de estabilização do método após a variação das entradas (Stankiewicz, 2013). Em todas simulações, demonstra-se a potência extraída pelo método, de maneira individual, juntamente com a máxima potência que o painel pode fornecer.

Para a primeira simulação, realizou-se a aplicação de degraus de irradiação variando entre 800 W/m$^2$ e 1000 W/m$^2$, com uma frequência de 10 Hz e com uma temperatura fixada em 25°C. Para tanto, obteve-se as formas de onda ilustradas na Fig. 5.

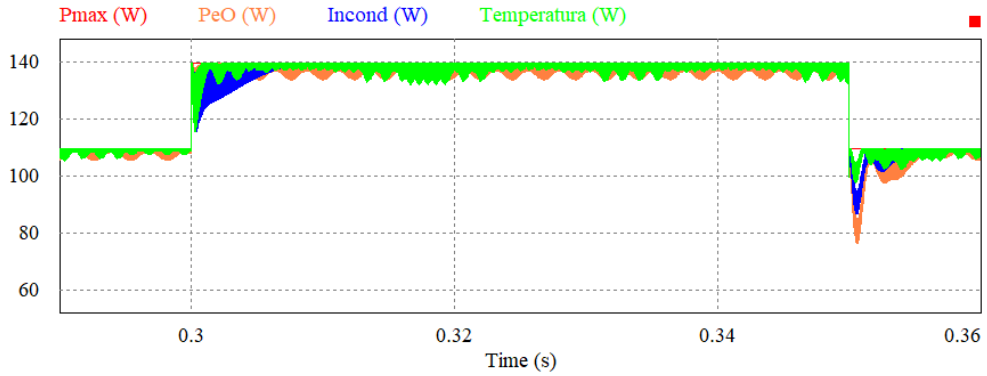



Figura 5. Métodos MPPT com degraus de irradiação.

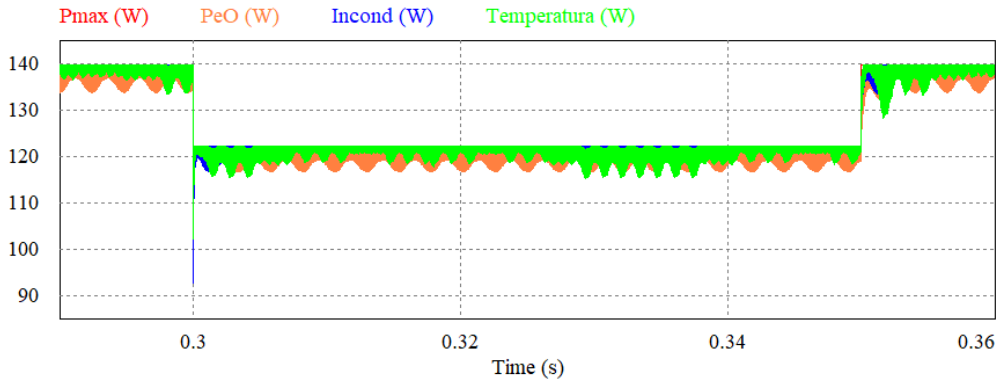



Figura 6. Métodos MPPT com degraus de temperatura.

Para a segunda comparação, realizou-se a aplicação de degraus de temperatura variando entre 25°C e 50°C, com uma frequência de 10 Hz, entretanto, ao contrário da última seção, com uma irradiação constante de 1000 W/m$^2$. A Fig. 6 ilustra os resultados encontrados. E por fim, aplicou-se a variação das duas entradas por meio de rampas simultâneas e defasadas de 90° entre si e com uma frequência de 10 Hz para ambas. Utilizou-se das mesmas características citadas nas seções anteriores para as variações de irradiação e temperatura, de 800 W/m$^2$ a 1000 W/m$^2$ e de 25°C até 50°C respectivamente, conforme ilustra a Fig. 7.

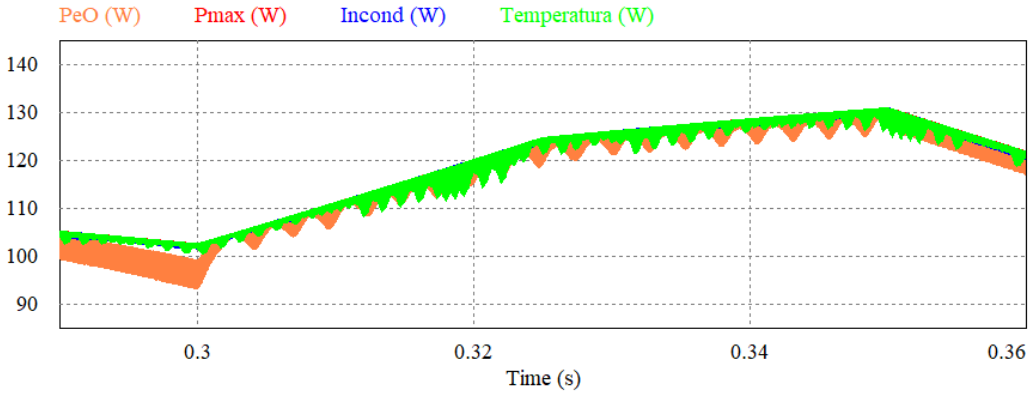



Figura 7. Métodos de MPPT com rampas de irradiação e temperatura.

A partir dos resultados obtidos, é possível encontrar o TF de cada método. Para isto utilizando as ferramentas disponibilizadas no software PSIM, calculou-se o valor médio da potência extraída pelo MPPT, e realizou-se a razão entre o valor médio extraído e a potência máxima produzida pelo painel fotovoltaico, utilizando uma amostragem de 0,6s por análise. Desta forma obteve-se os dados ilustrados na Fig. 8, onde demonstra-se a comparação de TF médio dos métodos divididos por simulação.

Salienta-se aqui que todos os métodos foram estudados e ajustados para que obtivessem os melhores resultados possíveis. Sabe-se que os métodos podem variar seu desempenho incrementando o passo da razão cíclica programado, assim tornando-o mais rápido para atingir o MPP, porém com o incremento do passo ocorre aumento da ondulação de potência e acaba diminuindo o TF médio.

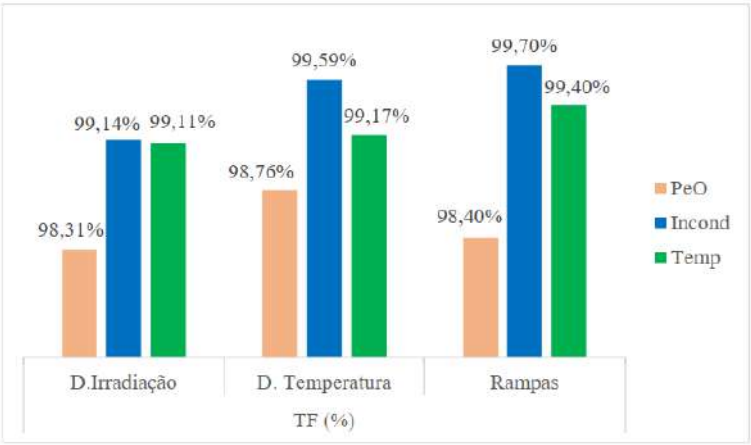



Figura 8. Fator de rastreamento médio dos métodos de MPPT.

## 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho tratou de avaliar o conversor CC-CC Buck-Boost juntamente com técnicas de MPPT aplicáveis. Para implementar o rastreamento de máxima potência selecionou-se os métodos Perturba e Observa, Condutância Incremental  Temperatura. A escolha do conversor deveu-se a simplicidade, robustez e aplicação dos métodos de MPPT em sistemas fotovoltaicos. Quanto as técnicas, forma selecionadas por serem dinâmicas, por possuírem lógicas distintas, de fácil implementação, número reduzido de sensores e aplicação comercial dos algoritmos.

A análise por simulação demonstrou que o método da Condutância Incremental é o mais eficiente para o conversor Buck-Boost nos três experimentos realizados. Em seguida, apresenta-se o método da Temperatura como o mais eficiente para o conversor estudado. O método Perturba e Observa, apesar de não ter ficado muito distante, possuiu um desempenho inferior aos demais métodos, em simulação. Uma possível explicação é que o método possui como característica de funcionamento, uma oscilação em torno do ponto de máxima potência, fazendo com que haja uma ondulação maior e diminuindo o seu fator de rastreamento.

Desta forma, conclui-se que o método da Condutância Incremental apresenta os melhores resultados quando aplicado ao conversor Buck-Boost, mesmo que tenha apresentado maiores tempos para atingir o ponto de máxima potência em regime permanente, se comparado com o método da Temperatura.

## 5. REFERÊNCIAS

Arrabaça, D. A., & Gimenez, S. P. (2014). *Conversores de Energia Elétrica CC/CC para aplicações em Eletrônica de Potência: conceitos, metodologia de análise e simulação* (1ª). São Paulo: Editora Érica.

Banu, I. V., Beniuga, R., & Istrate, M. (2013). Comparative analysis of the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods. *2013 - 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, ATEE 2013*, (1), 23–26. https://doi.org/10.1109/ATEE.2013.6563483

Bhatnagar, P., & Nema, R. K. (2013). Maximum power point tracking control techniques : State-of-the-art in photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *23*, 224–241.

Brito, M. A. G., Junior, L. G., Sampaio, L. P., & Canesin, C. A. (2010). Avaliação das principais técnicas para obtenção de MPPT de painéis fotovoltaicos. *Industry Applications (INDUSCON)*.

Chafle, S. R., & Vaidya, U. B. (2013). Incremental Conductance MPPT Technique FOR PV System. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, *2*(6), 2719–2727.

Coelho, D. C. (2009). Proposta de Conversor para Rastreamento de Máxima Potência de Operação de Pequenos Sistemas de Geração de Energia Elétrica.

Coelho, R. F., Concer, F. M., & Martins, D. C. (2010). A MPPT Approach Based on Temperature Measurements Applied in PV Systems. *International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*.

Collares, F. S. (2012). *Comparação quantitativa de métodos de paralelismo de módulos fotovoltaicos com a rede elétrica para geração distribuída através do controle de conversores de potência*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Dolara, A., Faranda, R., & Leva, S. (2009). Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for PV Systems. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, *01*(03), 152–162. https://doi.org/10.4236/jemaa.2009.13024

Hohm, D. P., & Ropp, M. E. (2003). Comparative study of maximum power point tracking algorithms. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, *11*(1), 47–62. https://doi.org/10.1002/pip.459

Houssamo, I., Locment, F., & Sechilariu, M. (2013). Experimental Analysis of Impact of MPPT Methods on Energy Efficiency for Photovoltaic Power Systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *46*, 98–107.

ISE. (2018). Photovoltaics Report. *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*, (August).

Martins, D. C., & Barbi, I. (2011). *Conversores CC-CC Básicos Não Isolados* (4ª). Florianópolis: Edição dos Autores.

Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power Electronics: Converters, Applications and Design* (3ª). New York: Wiley.

Silva, E. A., Bradaschia, F., Cavalcanti, M. C., & Nascimento, A. J. (2015). Parameter Estimation Method to Improve the Accuracy of Photovoltaic Electrical Model. *IEEE Journal of Photovoltaics*, *6*(1), 278–285.

Stankiewicz, A. L. (2013). *Estudo Comparativo de Técnicas de Rastreamento de Máxima Potência para Geração de Energia Solar Fotovoltaica*. FURB, Blumenau. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4919.6648

TDK-Epcos. (2016). Aluminum Electrolytic Capacitors General Technical Information. *The Capacitor Handbook*. https://doi.org/10.1007/978-94-011-8090-0_4

Villalva, M. G. (2014). *Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações* (1ªedição). São Paulo: Editora Érica.

Yu, G. J., Jung, Y. S., Choi, J. Y., & Kim, G. S. (2004). A novel two-mode MPPT control algorithm based on comparative study of existing algorithms. *Solar Energy*, *76*(4), 455–463. https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.08.038

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR DE INJETADOS EM UMA INDÚSTRIA DE MATERIAIS PARA ESCRITÓRIO.

**Osmar Francisco Zaparoli Junior**
**Fernando Luis Tartari Peres**
RS-311, Bairro demoliner, Erechim- RS
Juniorzaparoli.97@gmail.com, fernandop@uricer.edu.br;

**Resumo:** Com o crescimento da demanda de energia elétrica e o valor investido na mesma, torna a busca por sistemas com maior eficiência cada vez mais comum. O presente estudo, tem como objetivo, a redução de consumo de energia em um setor de injeção de plásticos. A realização de uma auditoria de eficiência energética na planta onde é realizado o estudo, além disso, é feito também uma análise sobre componentes de automação e acionamentos aplicados com eletrônica de potência, para tornar possível os projetos de melhoria visando a eficiência do sistema. Para a realização do presente estudo foi utilizado o analisador de energia RE6000. A coleta dos valores no ponto de maior consumo do setor mostra um desperdício de energia, onde após implementado um sistema com acionamento adequado e com um controle em malha aberta teria uma redução de 67% no custo de energia elétrica.

***Palavras chave:*** Eficiência energética. Automação. Acionamentos

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica para a produção na indústria atualmente é fundamental, pois a maioria dos processos são realizados por equipamentos que necessitam de eletricidade para funcionar. A eficiência energética é uma solução para o consumo de energia elevado que existe no país, essa área da engenharia atinge não somente as usinas geradoras, mas também pequenas e grandes indústrias com reduções de custos.

Segundo Oliveira, Matos e Black (2017) a indústria 4.0 é o termo dado ao projeto do governo Alemão que em seu fundamento básico apresenta entre seus pilares o *supply chain* que visa a intercomunicação de máquinas para redução de custos. A indústria 4.0 é cada vez mais o alvo das empresas brasileiras da região e para isso a eficiência energética é fundamental.

Além da economia em custos, a eficiência energética traz benefícios com relação ao meio ambiente, a Fig 1, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), mostra a relação entre a prática da eficiência energética e a redução na emissão de gás CO2 e uma projeção caso políticas de eficiência sejam adotadas.

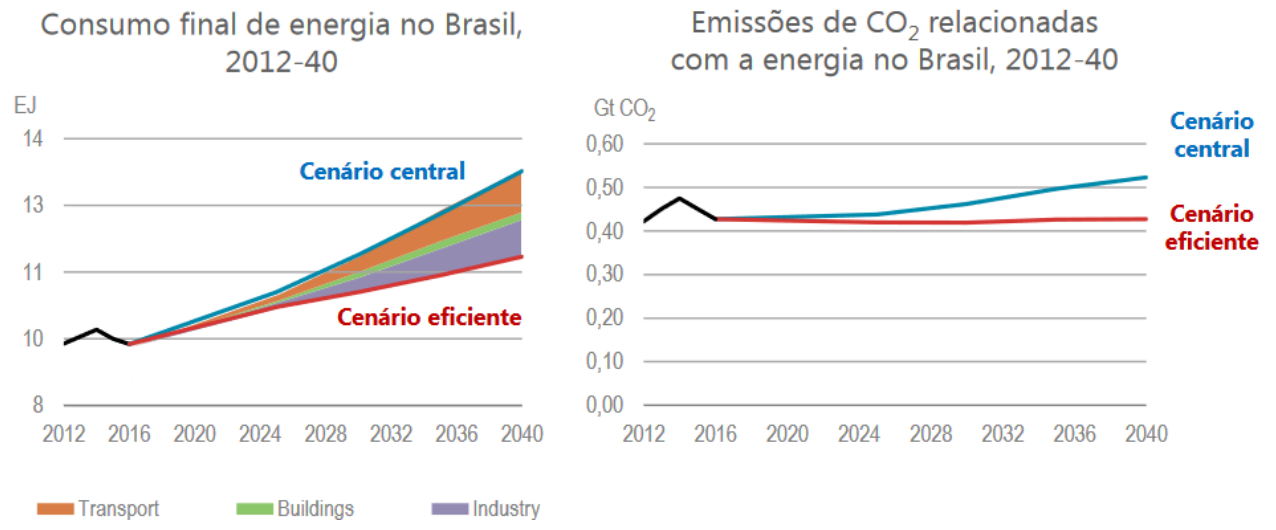



Figura 1. Relação entre consumo de energia elétrica e emissão de gás CO2

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Processo de injeção

Para Ribeiro (2009) o processo de moldagem pode ser definido como a transformação cíclica de termoplásticos em termofixos, ou seja, várias etapas do processo são executadas uma ou mais vezes na mesma máquina (Fig 2). O processo pode ser dividido em três partes: plastificação, preenchimento e resfriamento.

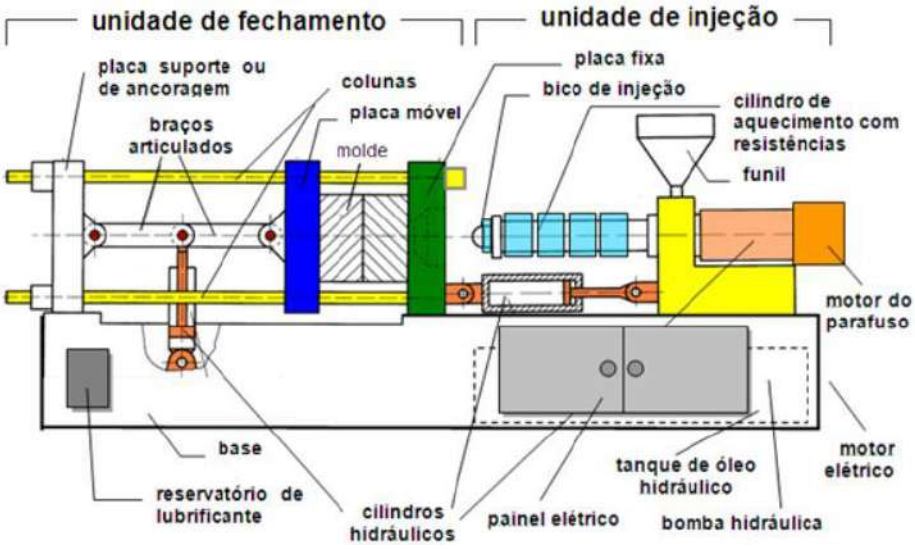



Figura 2. Estrutura de uma máquina injetora de plástico

A fase de pressurização é onde ocorre o maior consumo instantâneo da máquina (potência mais elevada) devido ao tamanho da máquina elétrica que está acoplada no equipamento e também aos elevados valores de pressão exigidos durante este processo (THIRIEZ, 2004).

A Figura 3 mostra de uma forma quantitativa o tempo gasto em cada etapa do processo de injeção, verifica-se que a parte de pressurização não chega à um quarto do processo, ou seja, o sistema de bombeamento de óleo pode ficar inativo durante todo o restante da fabricação da peça (DOMINGUES, 2016).




Figura 3. Ciclo de injeção de plásticos

### 2.2 Eficiência energética

A energia elétrica é um insumo fundamental para a garantia do desenvolvimento econômico e social de um país. Isso implica que o consumo de energia seja realizado de forma racional, visando a sua maior utilidade, ou seja, consumir menos para produzir a mesma quantia tornando os sistemas elétricos eficientes (ELETROBRÁS, 2005).

A eficiência energética vem se tornando um objetivo primordial para proprietários e gestores das organizações, isso porque ela traz economias financeiras que podem ser notadas desde o início da sua implementação. A redução do

consume energético traz lucros que cativam as empresas a aplicar essa metodologia em suas plantas industriais (MITOLO, et. al., 2019).

Uma auditoria energética é definida como uma inspeção sistemática do consumo de energia de um local, seja ele um complexo de residências ou uma planta industrial. Tem como objetivos estabelecer fluxos de energia, identificando o potencial para melhorias de eficiência energética afim de relatar para ao proprietário quais pontos podem gerar melhorias (SERRENHO; BERTOLDI; CAHILL,2014).

Segundo Serrenho, Bertoldi e Cahill (2014), uma auditoria de eficiência energética deve se basear nos seguintes passos:

- Levantar tarifas de energia e basear-se em dados de consumo energético atualizados e medidos;
- Realizar revisões detalhadas sobre os pontos com consumo relevante;
- Realizar o projeto de melhoria e payback abordando ciclos de vida dos equipamentos;
- Fazer auditorias até que seja possível formar uma imagem clara do desempenho energético e para permitir a identificação das oportunidades mais significativas de melhoria.

### 2.2.1 Levantamento de dados

O primeiro passo visa desenvolver uma avaliação global do consumo energético para o efeito de redução nas contas de energia, para isso é necessário quantificar a energia consumida (KADDARI; MOUDEN; HAJJAJI, 2018). Existem diversas formas de fazer essa primeira inspeção, a mais usual é uma caminhada na planta fabril e visualmente inspecionar pontos onde possuem um mal-uso de energia, seja um equipamento mal dimensionado, um sistema de resfriamento mal controlado, entre outros (SERRENHO; BERTOLDI; CAHILL, 2014).

### 2.2.2 Definição de carga com maior consumo

A segunda etapa é o desenvolvimento de uma abordagem para calcular e escolher indicadores de desempenho estabelecendo o balanço de energia na instalação de cada local afim de direcionar os itens que consomem mais energia, para isso são utilizados medidores elétricos, para fazer a análise do consumo de energia (KADDARI; MOUDEN; HAJJAJI, 2018).

Sola e Mota (2012), utilizam um modelo de decisão multi-atributo para seleção de cargas onde são necessárias mudanças a fim de conseguir um bom desempenho relacionado a eficiência energética. Para a seleção dos melhores pontos de eficiência energética devem ser analisados os seguintes dados:

- Custo de energia;
- Consumo do equipamento;
- Risco de perdas na produção;
- Eficácia do sistema atual.

Para Thumman e Younger (2008) a seleção do equipamento pode ser feita de diversas formas, a mais utilizada é realizar uma visita na planta industrial e verificar os pontos que tem maior consumo, visualizando placas de identificação de máquinas e avaliando qual a possibilidade de modificar o acionamento e o controle dos sistemas visando a redução de consumo energético.

### 2.2.3 Realização de projeto para eficiência energética

O terceiro passo implica que é necessário iniciar o desenvolvimento de ações de melhoria, segundo Kaddari, Mouden e Hajjaji (2018) é necessário projetar analisando 3 quesitos: técnico, econômico e ecológico. Isso significa que a avaliação deve levar em consideração vários fatores, e o processo de tomada de decisão é crucial a partir deste momento.

Para Thumman e Young (2008) a energia pode ser economizada utilizando Sistemas de Controle e Gerenciamento de Energia (SCGE). O aumento dos custos de energia e a redução dos preços de computadores e microprocessadores facilitam os estudos de eficiência energética. Um SCGE pode controlar eficientemente o aquecimento, a ventilação, motores e outros equipamentos consumidores de energia das plantas.

Os princípios básicos de controle para a conservação de energia são (THUMMAN; YOUNGER, 2008):

- Operar o equipamento somente quando necessário;
- Eliminar ou minimizar o aquecimento e o resfriamento simultâneos;
- Fornecer aquecimento e arrefecimento de acordo com as necessidades reais;
- Gerar aquecimento e arrefecimento a partir da fonte mais eficiente.

## 2.3 Motores elétricos de indução

Máquinas elétricas são dispositivos ou equipamentos capazes de realizar conversão eletromecânica em energia elétrica, podendo ser divididas em dois grandes grupos: motores e geradores. Motores CA convertem energia elétrica

em mecânica e são amplamente utilizados pelo menor custo comparado aos outros tipos de motores (PETRUZZELA, 2010).

Os motores elétricos de indução podem ser divididos em duas grandes áreas com características construtivas diferentes, sendo eles o rotor gaiola de esquilo e o rotor bobinado. Segundo Franchi (2013), os motores que utilizam gaiola de esquilo são muito mais utilizados, isso se deve ao fato da ausência de escovas e de comutadores ao contrário do rotor bobinado.

Os motores com maior utilidade nas indústrias são baseados no modelo gaiola de esquilo, são construídos basicamente por um circuito magnético estático (estator),18 bobinas e o rotor. O motor quando energizado atua como um transformador que tem seu terminal secundário em curto, ou seja, ele exige uma corrente muito maior que a nominal podendo chegar a atingir até sete vezes a corrente nominal no período de acionamento (FRANCHI, 2013).

### 2.4 Tipos de acionamentos

Acionamento elétrico é o processo de transformação de energia elétrica em energia mecânica. Normalmente são utilizados para acionar máquinas ou equipamentos que requerem algum tipo de movimento controlado como, por exemplo, bombas (COSTA, 2014).

Existem diversos tipos de partidas, nesta revisão serão elucidadas somente os modelos mais utilizados apresentados na Fig 4 adaptada de Franchi 2013.

- Partida direta: O motor é ligado simplesmente por um contator, apesar da simplicidade esse modelo de acionamento consome uma energia muito elevada na partida, podendo chegar até 10 vezes o valor da corrente nominal. Por esse motivo só é utilizado em motores de pequeno porte e que não seja acionado diversas vezes (COSTA, 2014).
- Partida Estrela-Triângulo: Neste modelo é necessário que o motor tenha dupla tensão (220/380V). Fazendo uma redução de torque o modelo pode chegar a reduzir até 1/3 da corrente de partida, que é diretamente proporcional ao torque que também é reduzido em 1/3(COSTA, 2014).

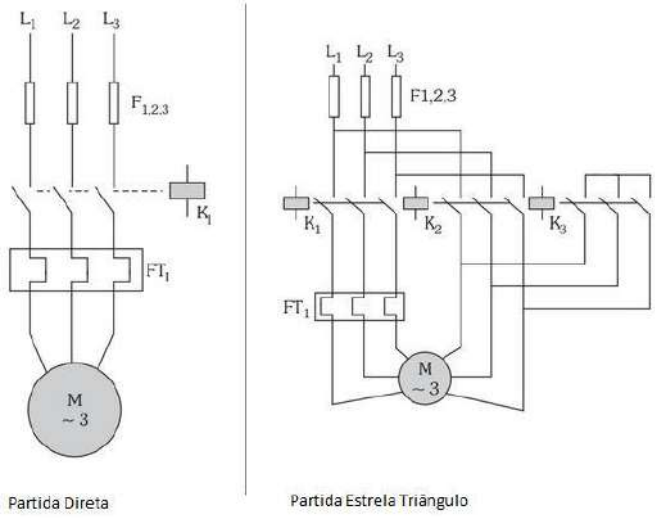



Figura 4. Partida direta e estrela triângulo

### 2.5 Acionamentos aplicados com eletrônica de potência

Conforme Franchi (2013), com o advento da eletrônica de potência, está se tornando muito viável economicamente e prático o uso das chaves eletrônicas em partidas e controle de motores. Circuitos eletrônicos de potência convertem a potência elétrica utilizando dispositivos eletrônicos que funcionam como chaves que modificam os valores de tensão e corrente (ARRABAÇA, 2012).

#### 2.5.1 Acionamentos aplicados com eletrônica de potência

Segundo Nascimento (2013), inversores de frequência, também conhecidos por conversores de frequência, são dispositivos que possibilitam a variação de velocidade de motores de indução trifásicos, permitindo modular a velocidade do motor junto do processo.

Franchi (2013) afirma que, o método mais eficiente para controle de velocidade de motores de indução trifásico, com menores perdas no dispositivo é o inversor de frequência, atuando na variação da frequência alimentadora por meio de conversores. Para entender melhor é possível analisar o diagrama de blocos da Fig. 5(Silva 2017).

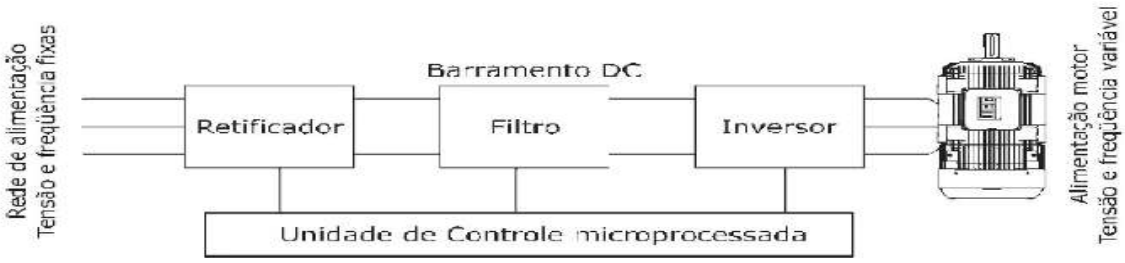



Figura 5. Diagrama de blocos do funcionamento do inversor de frequência.

O primeiro bloco é responsável pela retificação do sinal alternado que vem na rede de alimentação que chega da rede de Corrente Alternada (CA) para Corrente Contínua (CC). O segundo bloco consiste em um banco de capacitores eletrolíticos e circuito com filtragem de altas frequências, que permitem uma suavização das variações de tensão e gera uma saída com tensão CC fixa (SILVA, 2017)

O seu uso se faz muito viável no meio industrial pelas seguintes vantagens (CAPELLI, 2013):

- Otimização de processo: o aparelho diminui as perdas e consumo de matéria e de energia elétrica.
- Suavização de operação de máquinas: Com o inversor de frequência as partidas bruscas são reduzidas, isso porque o aparelho contém diversos tipos de parâmetros para aceleração e frenagem em rampa.
- Economia de energia elétrica: O inversor quando bem parametrizado pode controlar os motores de forma que só funcione quando necessário reduzindo custos. Dois exemplos clássicos são bombas e ventiladores em que o consume pode ser reduzido ao cubo.

### 2.6 Automação e controle

Para Silveira e Santos (1998) automação industrial é inserida sempre que novas técnicas de controle são introduzidas em um processo. Podendo trazer maior produtividade, aumento da qualidade de um produto, aumento de poder aquisitivo da empresa e a melhor utilização da energia elétrica.

Segundo Franchi (2011) a automação e o controle de processos industriais, assegura uma redução em custos e manutenções além de aumentar a produtividade. Para que isso ocorra bem é necessário ter um bom controle, levando em consideração qualquer variação no processo.

Existem dois tipos de controles básicos:

- malha aberta que não necessita saber a saída apenas que na entrada do sistema seja inserido o valor desejado Fig. 6 (SILVEIRA; SANTOS,1998);




Figura 6. Controle em malha aberta.

- sistema em malha fechada possuí uma realimentação para fazer o ajuste do valor na saída conforme Fig. 7 (SILVEIRA; SANTOS, 1998).

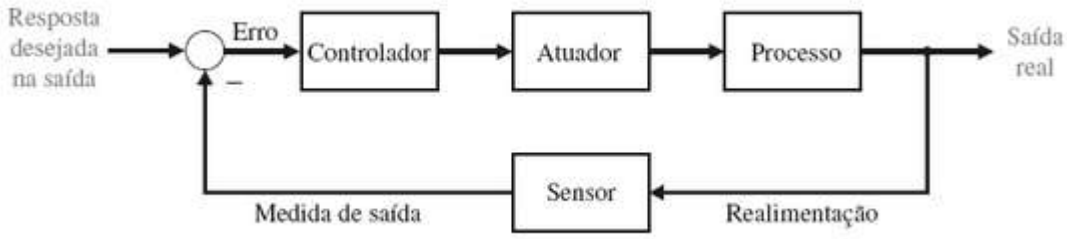



Figura 7. Controle em malha fechada.

Sistemas em malha aberta são utilizados quando a saída já é pré-determinada e não necessita que seja realizada uma conferência do sinal no final do sistema. Já em controles onde a saída pode ter variações é necessário fazer uma realimentação para correção do valor (DORF; BISHOP, 2018).

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Produção de injetados

Na produção de injetados são realizados diversos processos em uma só máquina, a injetora, como citado no capítulo anterior. O Sistema de acionamento atual existente na empresa é uma partida estrela-triângulo, o que acarreta um grande consumo energético.

Para a produção atual não existe qualquer automação no equipamento que vise a eficiência energética no processo de pressurização. Para realizar o projeto visando27 eficiência energética, faz-se necessário saber quando a máquina necessita de pressurização. O equipamento atual é comandado por um CLP, e este envia sinais lógicos quando necessário pressurizar o pistão da injetora.

Para saber quais saídas do CLP enviam os sinais no processo de pressurização, é necessário com um multi-teste na função de contato analisar cada uma das saídas do controlador, para que assim, seja possível interligar o inversor de frequência no processo.

A bomba de óleo que pressuriza a máquina é de grande porte. Tendo como os principais pontos a ser levado em consideração a potência em kW (26) a tensão em V (380), corrente nominal em A (40A).

### 3.2. Cuidados para automação

Para realizar a automação visando eficiência energética é necessário que os equipamentos consumam o mínimo de energia possível durante a maior parte do tempo, porém o processo atual da máquina não deve ser alterado. Para isso, é necessário escolher equipamentos que atendam às necessidades da produção.

Como mostrado no capítulo 2 a pressão para injeção de uma peça leva menos de um quarto do tempo total do processo e necessita de uma resposta rápida quando solicitado pelo sistema, para atender os padrões da produção o inversor de frequência necessita uma rampa de 10Hz até 60Hz em 1 segundo.

Para realizar este processo é possível utilizar o modelo de controle em malha aberta, conforme Fig. 8 que possibilitará ao sistema ter a pressão quando necessário.




Figura 8. Malha de controle projetada

A variável a ser controlada neste sistema é a pressão, o CLP atua como o controlador e faz a definição de quando é necessário pressão no sistema. Quando detectado a necessidade de pressão, o CLP envia um sinal para o inversor que é o atuador do processo fazendo a bomba aumentar a velocidade para que a pressão do sistema seja elevada até que o molde seja preenchido.

### 3.3. Simulação

Após parametrizado o inversor de frequência e programado o controlador, é necessário fazer a comunicação entre os dois equipamentos representado na Fig. 9. Para questão de simulação foi necessário utilizar botoeiras para simular as entradas do CLP e contatoras nas saídas.

Para realizar a simulação é necessário fazer uma programação em Ladder para representar as entradas e saídas do controlador atual, pois o CLP da máquina indica quando o sistema está no processo de pressurização. O programa funciona da seguinte forma:

- Entrada I1: Habita a saída Q1 que aciona o inversor;
- Entrada I3: Quando o sistema não necessita pressão habilita a saída Q3 que reduz a velocidade do motor para 10Hz;
- Entrada I4: Quando o sistema requer tensão habilita a saída Q4 que eleva a velocidade do motor para 60Hz.

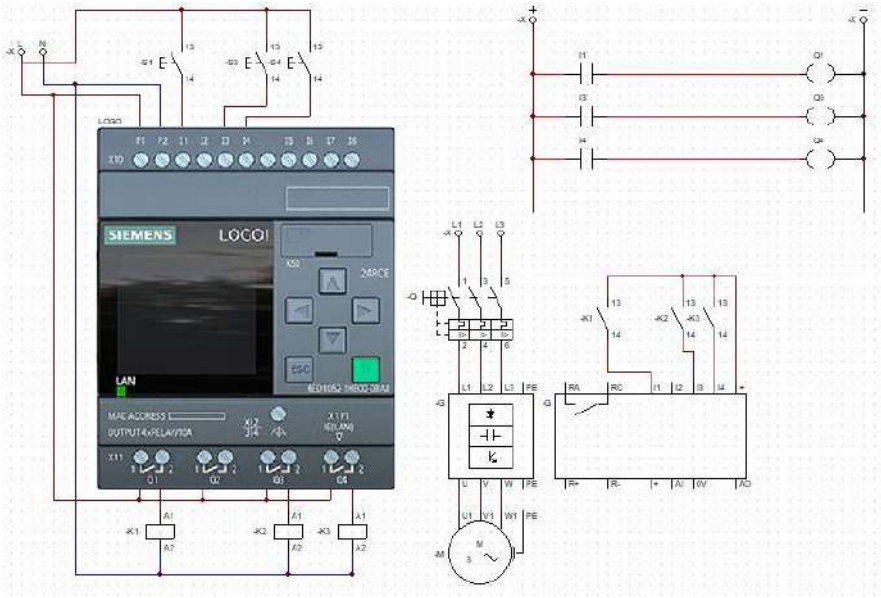



Figura 9. Comunicação entre CLP, inversor e motor.

### 3.4. Análise de consume

Para fazer a análise do consumo da máquina foi utilizado o analisador de energia da RE6000 (Fig 10), disponível na universidade para fins de trabalhos relacionados a qualidade de energia e eficiência energética.




Figura 10. Analisador de energia

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Projeto

O projeto final simulado no CADe SIMU 3.0, convergiu para o resultado desejado, fazendo o controle da velocidade do motor Tabela 1, reduzindo também a sua potência e acionando somente quando necessário.

| Condição | Frequência |
|---|---|
| *Stand By* | 10Hz |
| Pressurização | 60Hz |

Tabela 1. Relação de condições e frequência na saída do inversor

O inversor para aplicação neste caso é de controle escalar que tem como característica principal a variação de velocidade variando a tensão, e assim então reduzindo o torque e a potência do equipamento quando não necessário esforço mecânico. A tabela 2 mostra a relação da frequência com a velocidade do motor e a tensão do estudo realizado.

| Frequência (Hz) | Velocidade (rpm) | Tensão (V) |
|---|---|---|
| 10 | 291,6 | 63,3 |
| 60 | 1750 | 380 |

Tabela 2. Relação do gráfico escalar do projeto

**4.2. Análise de consumo energético**

Com um registro a cada 1 segundo foi possível analisar o consumo de energia durante 8 horas e 40 minutos contemplando um dia de produção que está representado na Fig. 11. O gráfico mostra que o consumo da máquina, mesmo em stand by, é alto, além dos pontos onde a máquina é acionada e possui picos elevados de consumo energético.

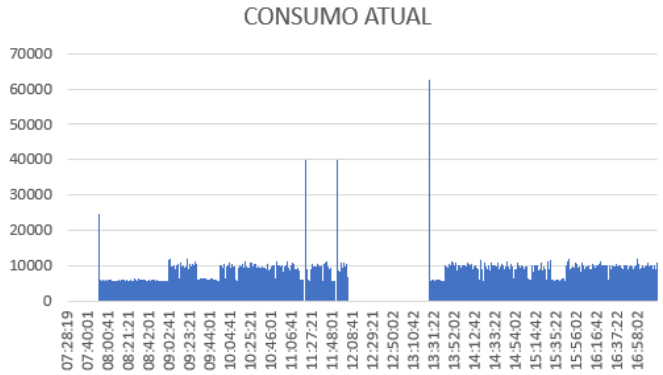



Figura 11 Consumo atual do motor em W

Após gerado o consumo real atual durante um dia de produção é possível fazer uma simulação para verificação da redução do consumo energético, aplicando a redução de tensão nos momentos onde o sistema está em stand by tem-se o resultado da redução do consumo representado na figura 12.

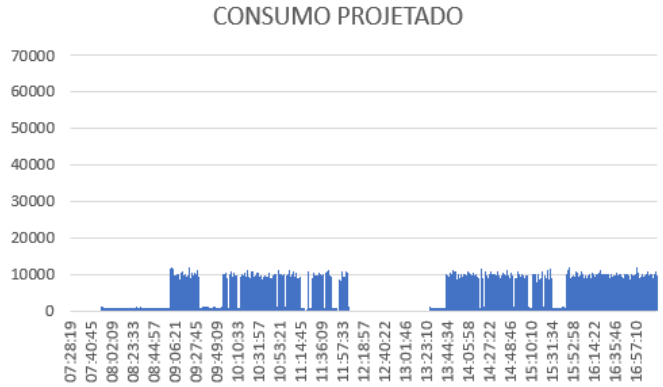



Figura 12 Consumo projetado do motor em W

O projeto atual traz uma queda de consumo diária de aproximadamente 67%. Uma das principais vantagens dessa redução é o custo de energia pago no final de um mês que, para uma tarifa de energia que custa para a empresa R$ 0,33 por quilowatt consumido está representado na Fig. 13.

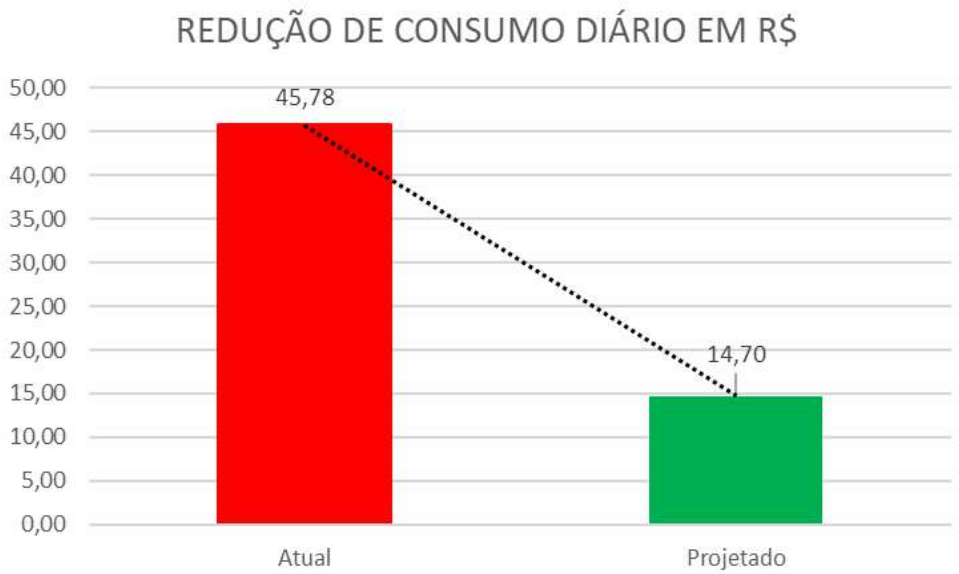


Figura 13: Redução do consumo diário

## 5. CONCLUSÃO

Em meio ao cenário difícil que o setor industrial brasileiro está inserido, a economia em todos os processos é de suma importância, já que, os produtos têm maior valor agregado com esse cuidado. A redução de desperdício em energia está se inserindo no cenário atual de forma rápida. O trabalho dá o embasamento sobre eficiência energética, o impacto do custo energético nas indústrias além dos métodos utilizados para fazer estudos que buscam redução de consumo energético.

Esse trabalho apresentou uma redução de 67% no consumo de energia fazendo a atualização do acionamento da máquina utilizado a chave eletrônica e utilizando o CLP para realizar o controle.

## 6. REFERÊNCIAS

ARRABAÇA, A.D. **Eletrônica de potência – conversores de energia CA/CC. 2ª ed.** Editora Érica, São Paulo, 2012.

CAPELLI, A. **Automação Industrial controle do movimento e processos contínuos.** 3ª ed. São Paulo: Editora Érica, 2013.

CAPELLI, A**. Automação Industrial controle do movimento e processos contínuos. 3ª ed.** São Paulo: Editora Érica, 2013.

COSTA, M.H.F. **Análise comparativa da utilização de dois equipamentos para partida direta de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo: inversor de frequência x chaves de partida estática.** Trabalho de conclusão de curso, Centro Federal de Educação Tecnológicca de Minas Gerais, Belo Horizonte,2014.

DOMINGUES, D.F.A. **Análise e Modelação do consumo de energia no processo de injeção de plásticos.** Trabalho de conclusão de curso, Instituto Superior Técnico Lisboa, Lisboa, 2016.

DORF, C.R.; BISHOP H.R. **Sistemas de controle moderno. 13ª ed**. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2018.

ELETROBRÁS **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial.** Rio de Janeiro, 2005. http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Efic%20En%20em%20Sist%20de%20Refrig%20Ind%20e%20Cm Eletrobras-05.pdf

EPE **Perspectivas energéticas globais a longo prazo.** World Energy Outlook 2018, Rio de janeiro, 2019. Disponível http://www.epe.gov.br/sites_pt/saladeimprensa/noticias/Documents/12%20April%20_%20EPE%20WEO%20launch_Clean%20(002).pdf.

FRANCHI, M.C. **Acionamentos elétricos. 4ª ed**. Editora Érica,São Paulo, 2013.

FRANCHI, M.C. **Controle de processos industriais – Principios e aplicações. 1ª ed**. Editora Érica,São Paulo, 2011.

MITOLO, M.; NOUSSAN, M.; PONS, E.; PORTE, D.; TARTAGLIA, M. **Energy analysis in an italian opera hous**e. IEE industry applications Magazine, 2019.

OLIVEIRA, A.L.G.; MATOS, S.A.; BLACK, D.H. I**mpacto da indústria 4.0 no sistema elétrico de distribuição de energia.** 17º CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, SÃO PAULO, 2017.

PETRUZELLA, F.D. **Controladores Lógicos Programáveis. 4ª ed.** Editora AMGH, Rio de Janeiro, 2014.

RIBEIRO, L.S. **Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras**. Trabalho de conclusão de curso, Centro Paula Souza, São Paulo, 2009.

SERRENHO, T.; BERTOLDI, T.; CAHILL, C. **Survey of energy audits and energy management systems in the member states.** JRC SCIENCE, European Union,2015.

SILVA, P.P.D. **Dispositivo para o aumento da eficiência energética de motores de indução trifásicos acionados por inversores de frequência comerciais.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

SILVEIRA, P.R.; SANTOS, W.E. **Automação e Controle Discreto. 1ª ed**. Editora Erica, São Paulo, 1988.

SOLA, A.V.H.; MOTA, C.M.M. **Melhoria de eficiência energética em sistemas motrizes industriais**, Production Journal, vol.25, n.3, p.482-497, 2015.

THIRIEZ, A. **An environmental analysis of Injection Molding**. Trabalho de conclusão de curso, Massaschusetts Institute of Tecnology, Massaschusetts,2004.

THUMMAN, A.P.E.; YOUNGER, W.J. **Handbook of energy audits. 7ª ed** – The Fairmont Press, 2008.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DE UM SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE ENERGIA BASEADO EM CONVERSORES ESTÁTICOS CC/CC

**Ricardo André Kistemacher**
**Adilson Luís Stankiewicz**
**Cássio Luciano Baratieri**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI-Erechim, 331, KM 2, Bairro Demoliner, Erechim, RS.
ricardokistemacher@yahoo.com.br, adilsonluis@uricer.edu.br, cassiobaratieri@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Este artigo apresenta o projeto de um sistema de processamento de energia aplicado a um processo ininterrupto de energia. O sistema é constituído por dois conversores atuando de forma independente. O primeiro, sendo composto por um conversor CC-CC Buck que processa a energia de entrada do sistema. Por outro lado, o segundo é composto por um conversor Buck-Boost bidirecional, responsável pela transferência e continuidade da energia, proporcionando a bidirecionalidade entre o barramento CC e os bancos de baterias. Neste projeto são avaliadas as formas de ondas, equacionamentos e dimensionamento dos componentes magnéticos.Por fim é apresentado as formas de onda demonstrando a efetividade e qualidade nos projetos individuais de cada estágio de energia.*

***Palavras-chave:****Conversor CC-CC bidirecional, BarramentoCC, Energia ininterrupta.*

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável do país está diretamente conectado com as novas tecnologias a serem desenvolvidas, principalmente, na área da eletrônica de potência, cujo foco são sistemas eficazes de processamento para as diferentes formas de geração de energias renováveis.

Diante disso será necessário o desenvolvimento tecnológico contínuo na geração distribuída, a qual está interligada a conversores estáticos de potência. Nessa etapa de desenvolvimento, o uso de Sistemas ininterruptos de energia (UPS - *Uninterruptable Power Supply*) é intrínseco, possuindo uma ampla necessidade e aplicabilidade nas diversas áreas que necessitam de garantia no fornecimento da energia, qualidade e credibilidade perante os clientes.

Para (Bufarah, 2019), cada vez mais as concessionárias de energia elétrica necessitamaumentar sua eficiência operacional devido às regras estabelecidas pelo órgão regulador, considerandotambém os consumidores cada vez mais independentes gerando sua própria energia,abrindo portas para a entrada no mercado de inúmeras soluções de gerenciamento de rede econsumo de energia.

Conforme (Brasil, 2018), a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão no sistema de transmissão, o baixo impacto ambiental, a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética. Neste sentido surgem as conhecidas micro-redes e nano-redes, fundamentadas na eletrônica de potência.

Pensando em um estudo aplicado com o intuito de desenvolvimento tecnológico e sustentável, este trabalho abordará o projeto inicial de um sistema ininterrupto de energia, baseado em conversores estáticos CC/CC. Através do desenvolvimento de um sistema, atendendo a requisitos mínimos de qualidade e continuidade de energia para cargas essenciais, utilizadas em sistemas de telecomunicação e teleproteção presentes em uma usina hidrelétrica. Este estudo proporcionará de forma ininterrupta, a energia necessária em um Barramento CC de 48VCC, alimentando cargas de alta criticidade, sujeitas a multas e penalizações, caso ocorra alguma falta de energia.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE ENERGIA

Em geral, as UPS's são dispositivos eletrônicos controlados para garantir a qualidade e continuidade de energia elétrica aos equipamentos que nela estiverem conectados. É composta basicamente por um conversor de energia CA/CC para conversão de corrente alternada em corrente contínua, passando após para um barramento CC que através de conversores estáticos CC-CC determinam a qualidade e direcionalidade da energia.

Normalmente, neste estágio é conectado um banco de baterias como garantia de energia na forma eletroquímica, caso ocorra alguma falha na fonte de alimentação principal. O próximo estágio é o de saída, utilizando novamente conversores estáticos para conversão de corrente contínua (Fig. 1), presente no barramento CC para alternada, alimentando assim as cargas essenciais.

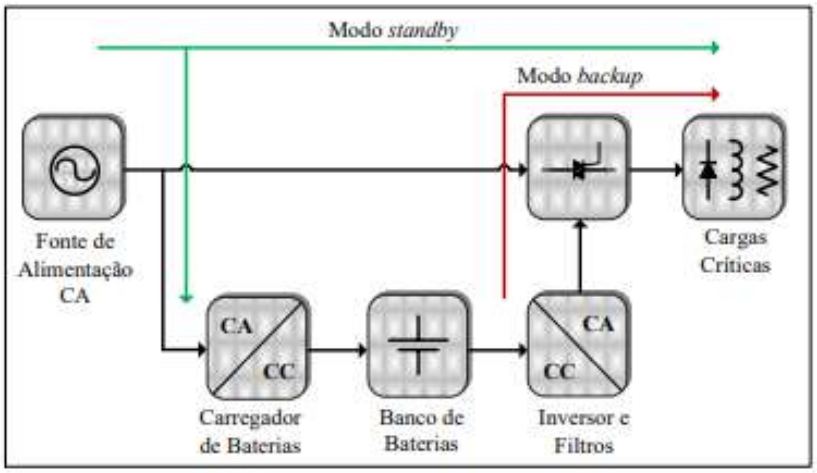



Figura 1. Diagrama simplificado de uma UPS. Fonte: Modesto(2015).

De acordo com (Greygate, 2018), uma UPS pode ser definida como uma fonte de energia de alimentação ininterrupta, sistemas integrados que detectam e evitam a perda de energia através do uso de baterias como reserva, as quais fornecem potência no lugar de fonte convencionais de energia quando esta energia falhar.

### 2.1 Barramento CC

É constituído por dispositivos eletrônicos que operam em corrente contínua de forma semelhante ao SIN (Sistema Interligado Nacional), pois nele, podem estar conectados diversos dispositivos e equipamentos elétricos/eletrônicos.

Neste caso, em corrente contínua, funcionando de forma interconectada (Fig. 2), quanto mais fontes geradoras e de diferentes origens de energia estão interconectadas, melhor será a otimização, estabilidade, qualidade e continuidade da energia ali presente.

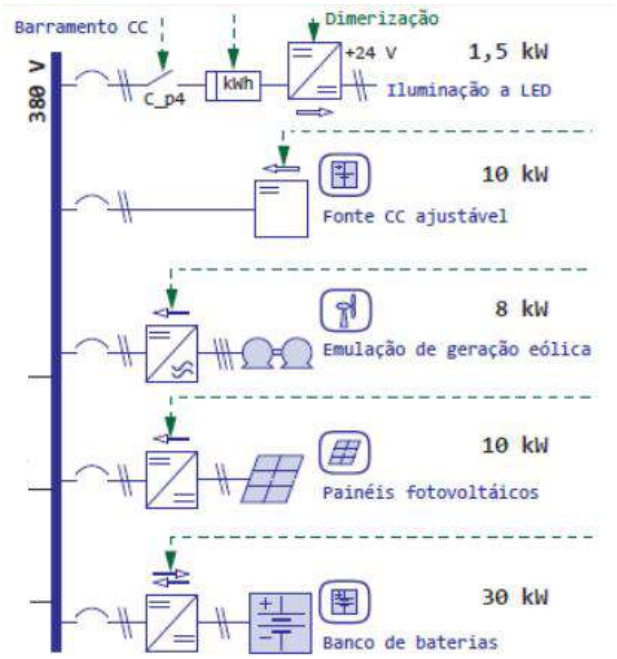



Figura 2. Barramento CC. Fonte: Maryama(2013).

## 2.2 Microgrids e Nanogrids

As micro-redesou *microgrids* são constituídas por sistemas de distribuição, consumo e armazenamento, sendo gerenciados por sistemas avançados de monitoramento, controle e automação.

Estas micro-redes são identificadas como componente-chave das redes inteligentes, para melhorar a confiabilidade e a qualidade da energia, aumentando a eficiência energética do sistema que proporciona a possibilidade de independência da rede elétrica para os usuários. Assim, uma grande quantidade de energia é gerada em tensão contínua, sendo provenientes de formas alternativas de geração, como a energia solar, eólica e a energia da biomassaconforme Fig. 3.

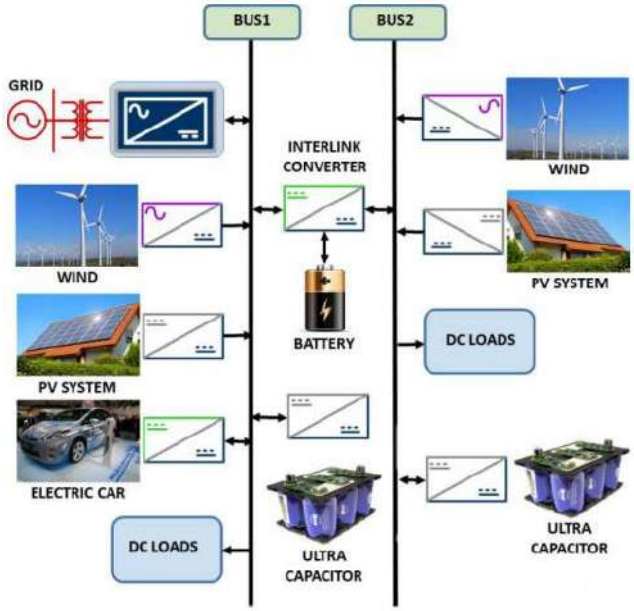



Figura 3. Topologia de uma micro-rede CC. Fonte: Campos(2018).

As nano-redes ou *nanogrids*, são sistemas de potência com duas ou mais fontes de geração e distribuição de energia limpa, em pequenas cargas, devido sua potência ser menor que 25 kW e pela sua limitação de carga a uma distância máxima de 5km das fontes geradoras. Conforme Fig. 4, as fontes de energias usuais das nano-redes são: solar, eólica, células combustíveis, microturbinas e sistemas de armazenamento de energia que é destinada a suprir a demanda a nível residencial ou predial (Silva, 2013).

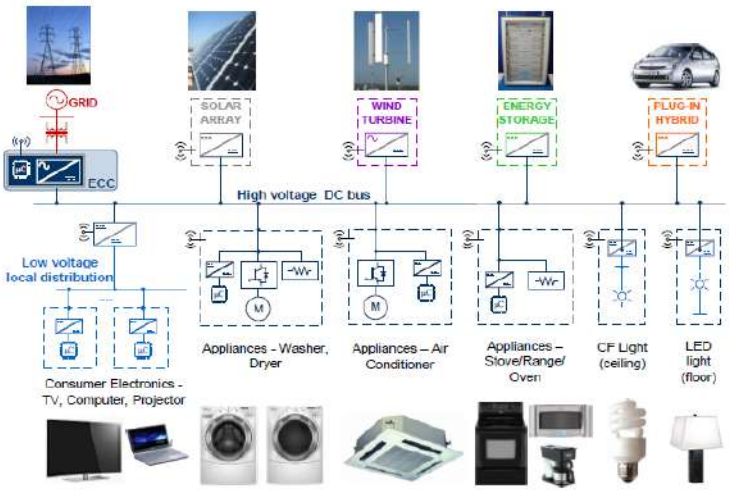



Figura 4. Topologia de uma nano-rede. Fonte: Cvetkovic(2010).

## 3. METODOLOGIA

Esta seção apresenta os procedimentos metodológicos do projeto de desenvolvimento e simulações dos conversores estáticos CC-CC Buck e Buck-Boost Bidirecional, desenvolvidos para operarem em conjunto. Dessa forma, será formado um sistema de gerenciamento de energia, o qual é composto também por dois bancos de baterias, tornando possível garantir a continuidade de energia para cargas consideradas essenciais em sistemas de proteção e telecomunicação, conforme Fig. 5.

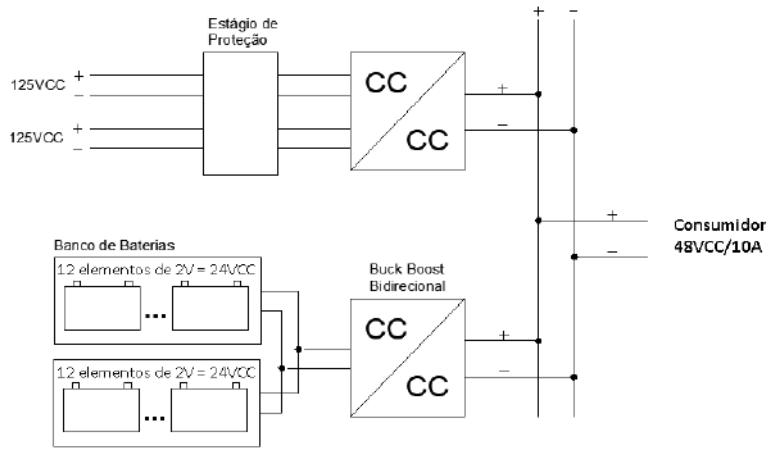



Figura 5. Topologia do sistema proposto.

O conversor Buck tem a função de processamento da energia de entrada do sistema, utilizando fontes de energia em corrente contínua existente e de maior magnitude, reduzindo-a para um nível de aplicação ao barramento CC.

O conversor bidirecional Buck-Boost, é responsável em garantir a qualidade e continuidade da energia do barramento CC, operando em dois modos distintos: conversor Buck durante o processo de carga e equalização dos bancos de baterias e como conversor Boost para o processo de descarga dos bancos de baterias.

O estágio de proteção de entrada, foi adicionado visando como proteção para sobrecargas e curto circuito, utilizando disjuntores, fusíveis e ponte de diodos. Na seqüência foi realizado o projeto completo dos indutores dos conversores estáticos, dimensionando o material adequado do núcleo, quantidades de espiras, indutância mínima, tipos de núcleos, perdas, entre outros. Por fim foi definida a quantidade de componentes e suas especificações para ser possível o projeto deste sistema.

### 3.1 Projeto Conversor Buck

A metodologia utilizada durante o desenvolvimento foi baseada nos conceitos disponibilizados por (Hart, 2012). A topologia escolhida para o projeto da entrada de energia do sistema foi o Conversor Buck (Fig. 6), por satisfazer todas as necessidades e possuir as seguintes vantagens:Menor número de componentes, proporcionando a obtenção de baixo custo para sua implementação;Tende a apresentar menores perdas, pelo fato de a corrente circular, em cada etapa, por um menor número de chaves;Não possui transformador, elemento que mesmo operando em freqüências mais elevadas, tende a contribuir significativamente para o aumento das perdas por dissipação de energia.

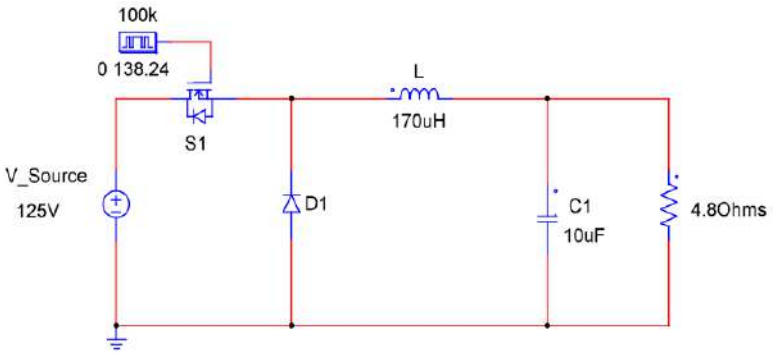



Figura 6. Topologia Conversor Estático Buck.

Foram utilizadas algumas equações durante a metodologia, sendo elas: o período de operação das chaves (*DutyCycle*), Eq. (1); variação da corrente no indutor,Eq. (2);indutor mínimo através do dimensionamento dos componentes magnéticos, Eq. (3); ecapacitor para garantir a qualidade da tensão de saída,Eq. (4).

$$D = \frac{Vo}{Vin} \tag{1}$$

Na "Eq. (2)" é obtida a variação de corrente no indutor para o modo de condução contínua.

$$\Delta I_L = \frac{Vo*(1-D)}{L*f} \tag{2}$$

Para obter o valor da indutância mínima, (Pinheiro, 2014) utiliza a Eq. (3), sendo N2 o número de espiras e AL_mina indutância específica mínima sendo proporcional a permeabilidade magnética.

$$L_{min} = N2^2 * A_{L\ min} * 0{,}64 \tag{3}$$

A partir da Eq. (4), encontra-se o valor do capacitor de acordo com a variação de tensão desejada.

$$C = \frac{1-D}{8*L\left(\frac{\Delta Vo}{Vo}\right)*f^2} \tag{4}$$

Para iniciar o projeto utilizaram-se as especificações Tab. 1, oriundas das restrições impostas pelo sistema.

Tabela 1. Especificações iniciais ao projeto do conversor buck.

| Descrição | Valor | Unidade de Medida |
|---|---|---|
| Tensão de Entrada | 125 | Volts |
| Tensão de Saída | 48 | Volts |
| Corrente máxima de saída | 10 | Ampere |
| Potência de Saída | 480 | Wats |

### 3.2 Projeto Conversor Bidirecional Buck-Boost

O conversor bidirecional Buck-Boost foi dimensionado para operar como um controlador de carga, através do gerenciamento de energia, utilizando assim a possibilidade de bidirecionalidade do fluxo magnético do conversor Buck-Boost de forma controlada entre o barramento 48 VCC e os bancos de baterias.

O conversor Buck-Boost bidirecional da Fig. 7 possui dois modos de operação distintos, sendo eles, o modo Buck, que utiliza a tensão do barramento CC, reduzindo a tensão para o nível de flutuação ideal dos bancos de baterias, e o modo Boost, que eleva a tensão dos bancos de baterias para o nível nominal de tensão do barramento CC, mantendo ativos os equipamentos nele conectados.

Como o nível de tensão do barramento CC é superior ao nível de tensão dos bancos de baterias, o conversor funcionará no modo Buck quando os limites de tensão do barramento estiverem entre 47,5 VCC e 48,5 VCC, mantendo uma tensão de 26,4 VCC de flutuação nas baterias, garantindo o nível de tensão adequado e de acordo com a indicação do fabricante, obtendo assim, uma maior expectativa de vida. O valor definido pelo fabricante é aproximadamente 10% acima da tensão nominal para cada elemento,(Ex.: 12 baterias * 2 VCC * 1.1% = 26,4 VCC).

Na ocorrência de qualquer oscilação, distúrbio ou falta de tensão no barramento CC, o conversor irá comutar de forma automática para o modo de funcionamento Boost, elevando o nível de tensão dos bancos de baterias para 48VCC, garantindo assim, a qualidade e continuidade das cargas conectadas ao barramento.

Após calcular os indutores para os dois modos de operação no conversor bidirecional,sendo considerados a mesma potência de saída (480 W) e o mesmo período de chaveamento (100 kHz) nas duas etapas de operação, entre o modo de operação MCC e MCD, o indutor L possui o mesmo valor para o modo Buck quanto para o modo Boost, justificando a topologia apresentada na Fig. 7.

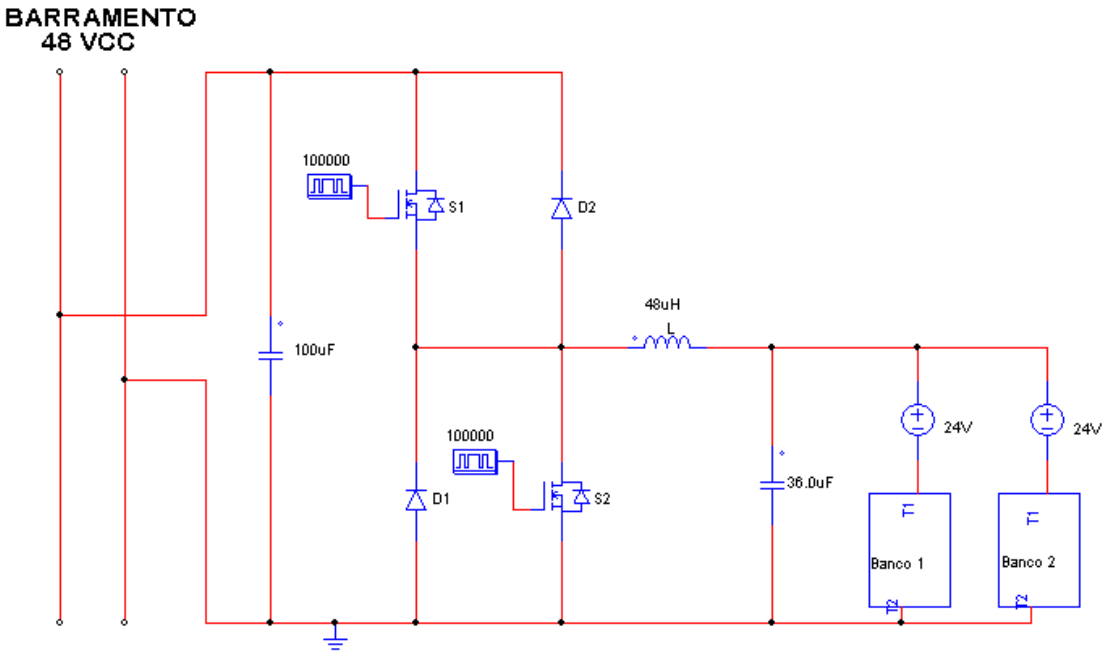



Figura 7. Conversor Estático Buck-Boost Bidirecional.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento dos conversores estáticos Buck e Buck-boost, conforme demonstrados na metodologia bem como suas simulações apresentaram qualidade e eficiência, atendendo os objetivos propostos.

Com a Eq. (5)é obtido o valor da corrente média no indutor no modo de condução contínua.

$$I_L = \frac{Vo}{R} = \frac{48}{4,8} = 10\,A \tag{5}$$

Assim, a partir da Eq. (6),é calculado o valor de ondulação da corrente do indutor:

$$\Delta I_L = \frac{48 * (1-0.384)}{170\mu * 100k} = 1.74\,A \tag{6}$$

Através da Eq. (7), pode-se obter o período de funcionamento da chave S1 do conversor de entrada Buck:

$$D = \frac{48}{125} = 0.384 \tag{7}$$

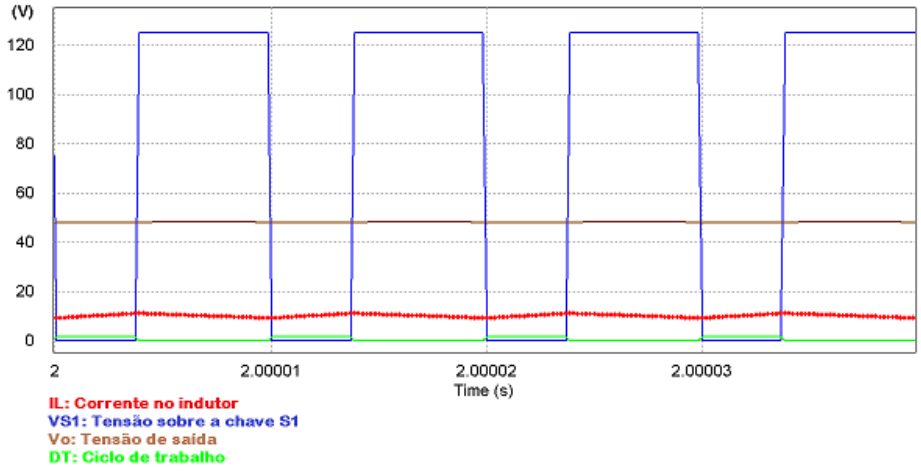



Figura 8. Formas de ondas do Conversor Buck

Na etapa de operação buck, calcula-se o período em que a chave S1 deve permanecer fechada, para reduzir o nível de tensão ao nível desejado no banco de baterias, obtido pela Eq. (8)e demonstrado na Fig. 9:

$$T_{on} = \frac{V_{BB} * Ts}{V_{CC}} = \frac{26{,}4 * 10\mu}{48} = 5.5\mu s \quad (8)$$

De acordo com Zangirolami(2016), considerando a mesma potência de saída e com o mesmo período de chaveamento nas chaves eletrônicas do conversor bidirecional, é possível adotar o mesmo indutor para os dois modos de operação, sendo assim, encontra-se a corrente média na Eq. (9).

$$I_{L_buck} = \frac{Po}{V_{CC}} = \frac{480}{48} = 10\ A \quad (9)$$

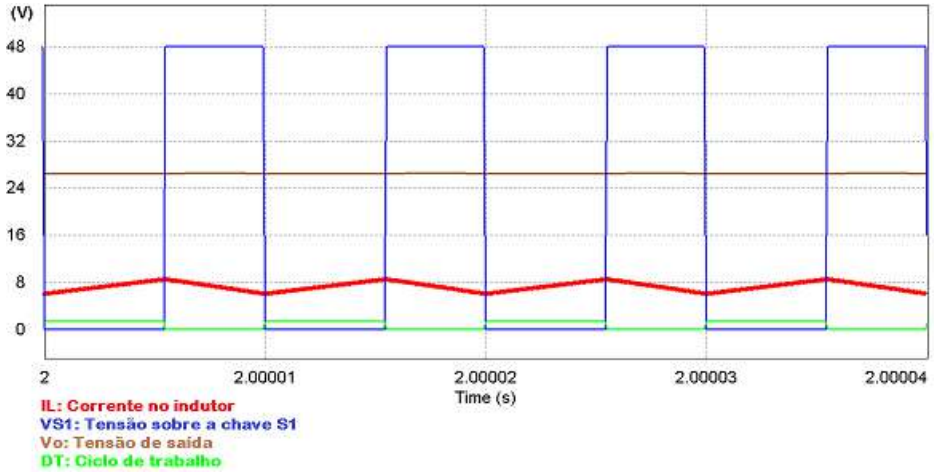



Figura 9.Conversor bidirecional Buck-Boost, modo de operação Buck.

Nesta etapa, calcula-se o período em que a chave S2 da Fig. 7 estará fechada, elevando a tensão para o nível desejado no barramento CC, ou seja, 26,4VCC para 48VCC, conforme Eq. (10):

$$T_{on} = \frac{(Vcc - Vbb) * Ts}{Vcc} = \frac{(48 - 26{,}4) * 10\mu}{48} = 4.5\mu s \quad (10)$$

A corrente média que circulará pelo indutor pode ser obtida pela Eq. (11) e de acordo com a Fig. 10.

$$I_{L_boost} = \frac{Po}{Vbb} = \frac{480}{26{,}4} = 18.18\ A \quad (11)$$

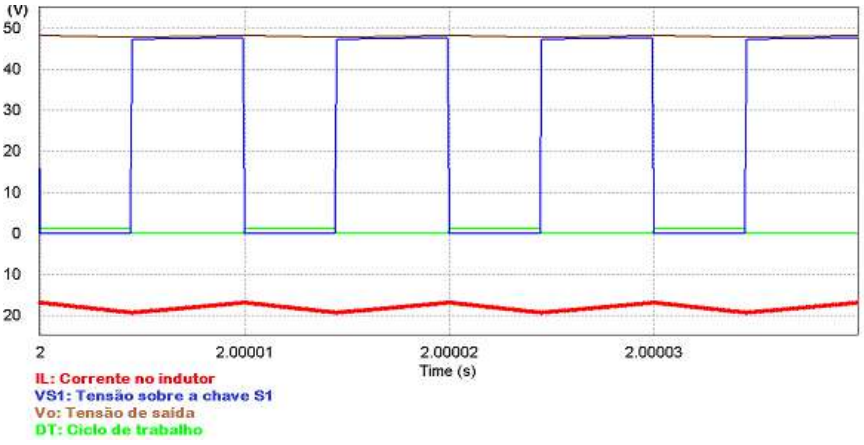



Figura 10. Conversor bidirecional Buck-Boost, modo de operação Boost.

Pode-se verificar através das figuras acima que os objetivos foram alcançados seguidos os critérios e definições propostas para este trabalho, ou seja, os conversores estáticos estão operando adequadamente para compor o sistema de processamento de energia.

Prospecta-se como continuidade o funcionamento integrado dos sistemas desenvolvidos individualmente, através de estudos,serãoescolhidasas técnicas de controle adequadas para que os conversores operem em conjunto, formando assim um único sistema de processamento, comprovando a efetividade através de simulações e cálculos.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho consiste no estudo e desenvolvimento de um sistema de processamentode energia com base em conversores estáticos CC-CC para aplicações em cargas quenecessitem de energia de forma ininterrupta.

Inicialmente foi definido o conversor adequado para a entrada de energia, sendo oconversor Buck por apresentar diversos pontos relevantes com relação aos demais, após foi definido e projetado o conversor bidirecional de interface entre o barramento CC eos bancos de baterias.

Na seqüência foi realizado o dimensionamento para a proteção da entrada do sistema, dos elementos magnéticos utilizados nos conversores e a definição dos componentes eletrônicos necessáriospara garantir a perfeita funcionalidade.

Por fim, constata-se que os objetivos foram alcançados seguidos os critérios edefinições propostas para este trabalho. Prospecta-se como continuidade o funcionamentointegrado dos sistemas desenvolvidos individualmente, através de estudos será escolhida a técnica de controle mais adequada para que os conversores operem de forma conjunta, formando assimum sistema de processamento integrado de energia.

## 6. REFERÊNCIAS

Brasil, E. *Geração Distribuída*. [S.l.], 2018. 47 p.

Bufarah, H. I. *Itron aponta desafios e convergências do setor*. 2019. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/tecnologias-smart/itron-aponta-desafios-e-convergencias-do-setor/>.

Campos, A. S. C. de. *Conversor Flyback Bidirecional Multi Enrolamentos*. Uberlândia, 2018. 111 p.

Cvetkovic, I. *Modeling, Analysis and Design of Renewable Energy Nanogrid Systems*. 129 p. Tese (Doutorado) – Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University., 2010.

Greygate. *Uninterrutible power supply*. 2018. Disponível em: <http://www.greygatellc.com/uninterruptible-power-systems.html>.

Hart, D. W. *Eletrônica de Potência - análise e projetos de circuitos*. Porto Alegre: [s.n.], 2012. 490 p.

Maryama, V. *Gerenciamento Energético para Microrredes Inteligentes*. Florianópolis, 2013. 80 p.

Modesto, R. A. *Estudo, Projeto e Implementação de Sistemas UPQC/UPS Trifásicos Aplicados no Condicionamento Ativo de Energia Elétrica*. 243 p. Tese (Doutorado)—USP, 2015.

Pinheiro, H. *Fundamentos de Eletrônica de Potência*. Santa Maria, 2014. 193 p.

Silva, W. w. A. G. *Estudo e implementação de um conversor bidirecional como interface na regulação de tensão em barramento CC e carregamento de baterias em um sistema nanorrede*. Belo Horizonte, 2013. 130 p.

Zangirolami, T. R. *Sistema de Alimentação Ininterrupta de energia CC de Baixa Potência* – Dimensionamento e Controle. Juiz de Fora, 2016. 68 p.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Elétrica:

# Sistemas Elétricos de Potência

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DO CONVERSOR BOOST PFC DE BAIXO CUSTO PARA USO EM INSTALAÇÕES RURAIS

**Afonso Carlos Hinkel Júnior**
**Adilson Luís Stankiewicz**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim
Bairro Demoliner, Erechim, RS, 99704380
hinkel.afonso@gmail.com; adilsonluis@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Este trabalho tem como objetivo realizar a análise e projeto do conversor Boost Power Factor Correction (PFC) com alto fator de potência aplicado a propriedades rurais. A metodologia adotada consiste em algumas etapas sequenciais: primeiramente, utiliza-se um retificador não controlado de onda completa em ponte para a conversão CA-CC. Em seguida a onda retificada é aplicada no conversor Boost PFC para que a tensão seja elevada até a faixa de 400 V e o fator de potência seja corrigido até próximo a unidade. Nesta fase, o controle por corrente média é utilizado com auxílio de controladores Proporcional e Integral (PI). O projeto do retificador não controlado de onda completa em ponte é simulado através do software PSIM. Para o dimensionamento do conversor Boost, são calculados os valores dos elementos passivos - indutor, capacitor, resistor - de forma a atender os parâmetros de projeto pré-estabelecidos. Por intermédio do software PSIM, obtém-se as principais formas de onda, validando ambas as fases do projeto até o momento. Os resultados extraídos pelas simulações evidenciam um apropriado desempenho dos conversores de acordo com a bibliografia utilizada, destacando-se o fator de potência de 0,996, muito próxima a unidade, e 9,09 % para Total Harmonic Distortion (THD).*

***Palavras chave:*** *Boost, PFC, qualidade de energia, redes elétricas rurais.*

## 1. INTRODUÇÃO

As cargas elétricas instaladas em localizações rurais vêm passando por uma transição abrupta nos últimos anos. Antes a energia elétrica tinha o propósito de aumentar o conforto aos moradores rurais. Entretanto, com o avanço da tecnologia agrícola, a demanda de energia para essas localidades exige sistemas trifásicos de qualidade (Guedes, 2000; Scapini et al, 2014).

Em geral, o atendimento da demanda de energia elétrica em áreas rurais é precário, tendo em vista o alto custo de distribuição devido à baixa densidade de carga e à maior distância dos grandes centros de consumo. Com isso, as concessionárias de energia optam pela alimentação monofásica para essas regiões, a qual apresenta um menor custo (Guedes, 2000).

Dessa forma, o êxodo rural muitas vezes é motivado por essa falta de qualidade de energia. Esse problema acaba barrando o crescimento tecnológico das propriedades, fazendo com que moradores rurais visem melhores oportunidades de renda nos grandes centros (Bertollo, 2008).

Contudo, grandes esforços de pesquisa vêm se concentrando em alternativas de conversão de baixo custo que, além de transformar energia monofásica para trifásica, tenham a capacidade de melhorar a qualidade da energia por meio da correção do fator de potência (*Power Factor Correction*, PFC). Segundo Ferraz (2012), com a realização do PFC, dentre outras vantagens, diminui o consumo de energia reativa, a eficiência dos sistemas, assim como a vida útil dos equipamentos aumentam.

Para tanto, uma das alternativas mais viáveis é o conversor Boost - elevador de tensão - o qual apresenta diversas vantagens de desempenho e rendimento para tal aplicação (Souto, 2015).

Nesse contexto, os estudos empregados neste trabalho são baseados no conversor Boost PFC. Sendo assim, foram realizados os projetos dos circuitos de potência e controle do conversor Boost, com o dimensionamento dos elementos a serem utilizados, gerando as principais formas de onda do conversor obtidas por intermédio de simulação computacional, bem como as respectivas análises dos resultados obtidos.

## 2. CONVERSOR BOOST

Este conversor, ilustrado pelo Fig. 1, recebe um sinal de tensão contínua, de valor fixo, sem ondulação e, por intermédio da comutação periódica realizada por MOSFET ou IGBT, fornece na saída um valor de tensão predeterminada, maior que a da entrada, contínua e sem inversão de polaridade (Arrabaça, 2013; Hart, 2012).

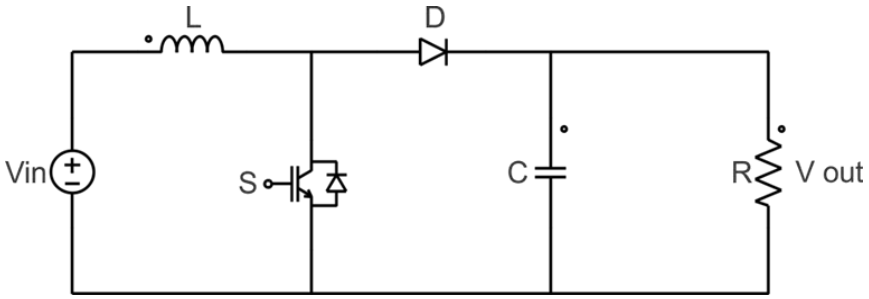
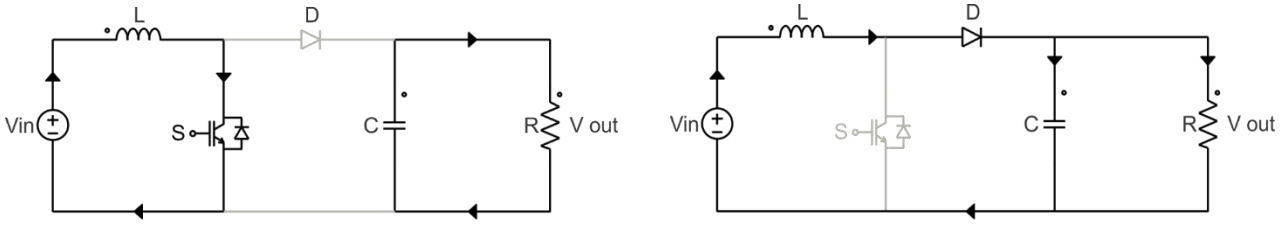



Figura 1. Conversor Boost

Quando a chave está fechada, ou em curto-circuito, conforme ilustrado na Fig. 2 (a), a fonte de tensão de entrada alimenta o indutor, aumentando a corrente elétrica linearmente. A energia armazenada no capacitor é dissipada para a carga.




(a) (b)

Figura 2. Operação do conversor Boost com a chave (a) fechada (b) aberta

No momento que a chave abre, o diodo é polarizado diretamente, fornecendo um caminho para a corrente elétrica armazenada no indutor, como representado na Fig. 2 (b). Essa corrente, além de alimentar a carga, dissipa energia para o carregamento do capacitor. A tensão média no indutor, no caso do chaveamento periódico, será sempre nula (Hart, 2012).

A relação entre tensão de entrada ($V_{in}$), taxa de trabalho (Duty Cycle, $D$) e tensão de saída ($V_{out}$) pode ser expressa pela Eq. (1):

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - D} \tag{1}$$

Nota-se que, caso a chave fique sempre aberta e $D$ seja zero, a tensão de saída será igual a tensão de entrada. Analogamente, conforme a taxa de trabalho se aproxima de um, a tensão de saída tende ao infinito.

O conversor Boost é o mais utilizado como PFC devido ao seu desempenho, rendimento e vantagens estruturais, principalmente pela presença de um indutor na entrada do conversor, que absorve variações bruscas na tensão de rede, mediando o alcance da forma senoidal da corrente elétrica. Além disso, o interruptor e o conversor têm a mesma referência de aterramento, o que simplifica seu acionamento (Beltrame, 2009; Souto, 2015).

O modo de operação do conversor pode ser projetado de acordo com as características da carga. Para baixas potências utiliza-se normalmente o Modo de Condução Descontínua (MCD) devido ao menor esforço da chave durante a comutação enquanto a corrente no indutor for nula. Para potências elevadas utiliza-se o Modo de Condução Contínua (MCC), já que as perdas na comutação e o pico de corrente elétrica nesse modo de operação são menores. Ainda, em cargas variáveis, pode-se recorrer ao Modo de Condução Limite (MCL) (Roggia, 2009).

Segundo Beltrame (2009), o conversor Boost no contexto do PFC precisa, basicamente, fazer com que a corrente média no indutor siga uma referência de corrente de modo que se molde à forma de onda da tensão já retificada de entrada, o que garante a equivalência de fase entre tensão e corrente. Ainda, a tensão de saída precisa ser maior que o pico da tensão de entrada, atendendo às características de elevação de tensão. Para tanto, é imprescindível que se faça o controle apropriado conforme sintetizado na Fig. 3, que mostra o esquemático do circuito Boost PFC.

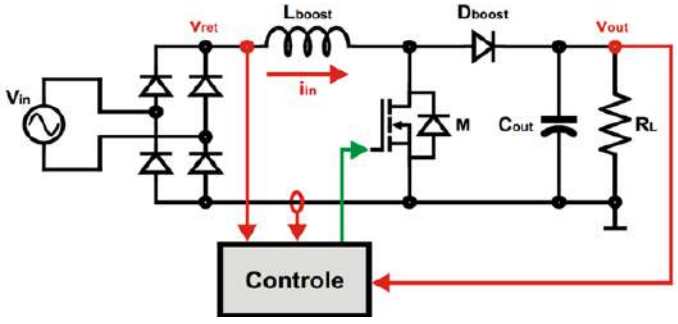



Figura 3. Circuito Boost PFC (Beltrame, 2008)

## 3. PROJETO DO CIRCUITO DE POTÊNCIA

O projeto do conversor Boost segue algumas especificações pré-estabelecidas, as quais constam na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros de projeto

| Simbologia | Descrição | Valor |
|---|---|---|
| $V_{in}$ | Tensão de pico de entrada | 311,13 V |
| $V_{out}$ | Tensão de saída | 400 V |
| $P_{out}$ | Potência de saída | 250 W |
| $f_s$ | Frequência de chaveamento | 75 kHz |
| $\Delta_{i_{in}}$ | Ondulação na corrente de entrada | 25 % |
| $\Delta_{V_{out}}$ | Ondulação na tensão de saída | 10 % |

Para o projeto do conversor CA-CC, optou-se pelo uso de um retificador de onda completa em ponte, composto por quatro diodos. O retificador é alimentado pela tensão senoidal da rede, sendo 220 V rms e 311 V a tensão de pico da rede monofásica. As simulações foram realizadas por intermédio do *software* PSIM, com uma carga resistiva de forma a se obter na saída uma carga de 250 W.

A taxa de trabalho, *D*, que relaciona o tempo de condução do comutador e o período de comutação pode ser calculado da seguinte forma:

$$D = \frac{V_{out} - V_{in}}{Vout} = 0{,}22 \tag{2}$$

Para emular a carga, foi dimensionado um resistor de carga, $R_c$:

$$R_C = \frac{V_{out}^2}{P_{out}} = 640\ \Omega \tag{3}$$

Para determinar o indutor, primeiramente utiliza-se a Eq. (4), de forma a se obter o valor da indutância mínima, $L_{min}$, para que o conversor opere no MCC.

$$L_{min} = \frac{D * (1-D)^2 * R_c}{2 * f_s} = 573{,}5\ uH \tag{4}$$

A corrente média no indutor, $i_{lm}$, pode ser calculada levando-se em consideração a ondulação de corrente de entrada, constante na Tab. 1. Dessa forma, obtém-se o indutor adequado para o projeto:

$$i_{lm} = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 * R_c} = 0{,}804\ A \tag{5}$$

$$\Delta_l = \Delta_{i_{in}} * \sqrt{2} *\ i_{lm} = 0{,}284\ A \tag{6}$$

$$L = \frac{V_{in} * D}{\Delta_l * f_s} = 3{,}244\ mH \tag{7}$$

Para o dimensionamento do capacitor, faz-se necessário levar em conta o *hold up time (*tempo de espera, $t_h$) garantindo que a tensão de saída se mantenha sem variações em um intervalo de tempo estabelecido, mesmo na falta de alimentação do circuito. Usualmente, $t_h$ é determinado como dois ciclos da rede, neste caso, portanto, 33,33 ms.

$$C = \frac{2 * P_{out} * t_h}{V_{out}^2 - \left(\left(1 - \Delta_{V_{out}}\right) * V_{out}\right)^2} = 289{,}3\ uF \tag{8}$$

Como critério de projeto, optou-se pela utilização dos valores de 3 $mH$ e 300 $\mu F$ respectivamente para indutância e capacitância do conversor, os quais aproximam-se dos valores calculados e referem-se a valores comerciais.

## 4. PROJETO DE CONTROLE PFC

O controle do conversor Boost empregado nessa pesquisa leva em consideração duas malhas de controle: uma para a regulação da tensão CC de saída com o valor pré-determinado em projeto, perante os diferentes tipos de carga e tensão de entrada e outra para manter a forma de onda senoidal da corrente de entrada, em fase com a tensão da rede.

As duas malhas de controle podem ser analisadas de forma autônoma, já que apresentam comportamento dinâmico diferentes. A malha de tensão possui resposta dinâmica lenta para não causar distorções na malha de corrente, a qual possui resposta dinâmica rápida para o rastreamento da referência de corrente.

A Figura 4 mostra o diagrama de blocos da estratégia de controle empregada. Na malha de tensão, um controlador Proporcional e Integral (PI) é utilizado para controlar o erro de tensão, caracterizado pela subtração entre o sinal de referência de tensão e o sinal da tensão de saída por unidade (pu). A malha de tensão é multiplicada pelo valor pu absoluto da tensão da rede que e em seguida subtrai-se o valor absoluto da corrente de entrada do conversor, personalizando o erro da malha de corrente, o qual, assim como a malha de tensão, é equilibrado por um controlador PI, que tem sua função de transferência definida pela Eq. (9). Finalmente, a modulação PWM é realizada com o sinal resultante e uma portadora de onda triangular do tipo dente de serra de 75 kHz, resultando no sinal de razão cíclica empregado na chave semicondutora do conversor.

$$G_{pi} = \frac{K_p\left(s + \frac{1}{T_i}\right)}{s} = \frac{K_p s + K_i}{s} \tag{9}$$

onde $K_p$ é o ganho proporcional, $K_i$ é o ganho integral e $T_i$ é *reset-time*, correspondente ao tempo em que a parcela proporcional da ação de controle é duplicada.

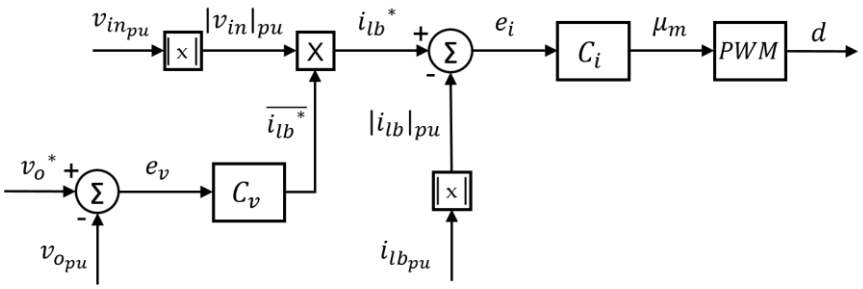
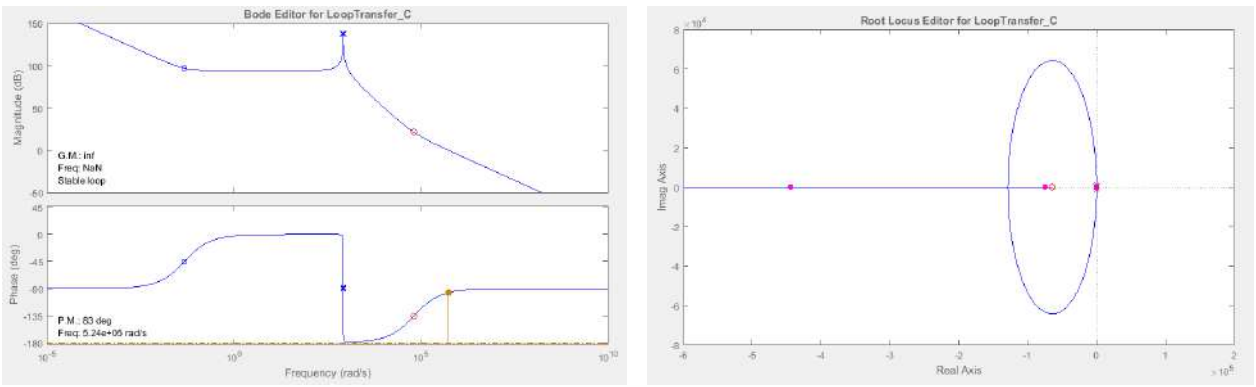



Figura 4. Esquemático de controle

### 4.1 Malha de Corrente

Com o auxílio do *software* Matlab, simulou-se a função de transferência da planta da malha de corrente, representada pela Eq. (10). Essa função de segunda ordem relaciona a corrente no indutor com a razão cíclica. Dessa forma, por intermédio da ferramenta *sisotool*, analisou-se o diagrama de bode, o diagrama de polos e zeros e a resposta ao degrau da planta com a inserção do compensador, $C_i$.

$$G_{id} = \frac{V_{in}\, C\, R_c\, s\, +2}{(1-D)(C\, L\, R_c\, s^2 + L\, s + R_c(1-D)^2)} \tag{10}$$




(a) (b)

Figura 5. Malha de corrente: (a) diagrama de bode (b) lugar das raízes

A Figura 5 (a) mostra o diagrama de bode de fase e ganho da planta com a inserção do controlador. Destaca-se a margem infinita de ganho e a margem de fase de 83°. A Figura 5 (b) apresenta o diagrama de lugar das raízes do sistema de forma a manter a estabilidade da planta. O sistema deve possuir resposta rápida para que a referência senoidal possa ser eficientemente rastreada.

Sendo assim, o compensador $C_i$ projetado é representado pela Eq. (11):

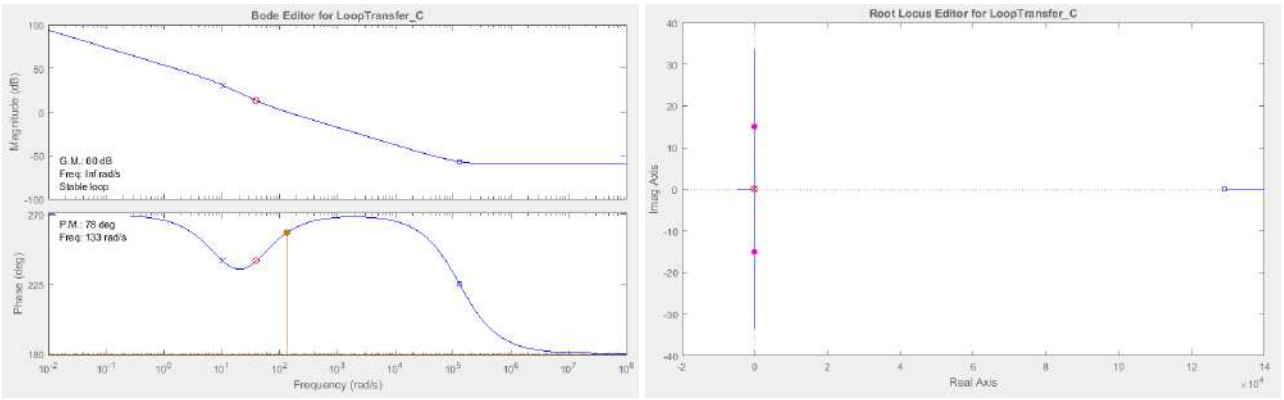
$$C_i = 5{,}67\left(\frac{s + 62500}{s}\right) \tag{11}$$

### 4.2 Malha de Tensão

Analogamente a malha de controle, o controlador de tensão foi projetado por intermédio da ferramenta *sisotool* do *software* Matlab. A Eq. (12) mostra a função de transferência de primeira ordem da planta, relacionando a tensão de saída com a corrente de entrada.

$$G_{vi} = \frac{-L\,s + R_c\,(1-D)^2}{(1-D)(C\,R_c\,s + 2)} \tag{12}$$

A Figura 6 (a) mostra o diagrama de bode de fase e ganho da planta com a inserção do controlador. Destaca-se a margem de ganho de 60 db e margem de fase de 78°. A Figura 6 (b) apresenta o diagrama de lugar das raízes do sistema de forma a manter a estabilidade da planta. O sistema deve possuir resposta mais lenta que a malha de corrente e suficiente para regular a tensão de saída em 400 V, com pouco índice de ondulação.




(a) (b)

Figura 6. Malha de tensão: (a) diagrama de bode (b) lugar das raízes

Dessa forma, o controlador da malha de tensão é representado pela Eq. (13):

$$C_v = 0{,}04885\left(\frac{s + 40}{s}\right) \tag{13}$$

## 5. DIAGRAMA DE SIMULAÇÃO

A Tabela 2 apresenta os valores dos ganhos de ambos os controladores, enquanto a Fig. 7 exibe o diagrama de simulação do circuito de controle do conversor Boost PFC, enquanto a Fig. 8 apresenta o diagrama de simulação do circuito de potência, ambas realizadas por intermédio do *software* PSIM.

Tabela 2. Ganhos dos controladores

| | $K_p$ | $K_i$ | $T_i$ |
|---|---|---|---|
| Malha de corrente | 5,67056 | 354.410 | 16 $\mu s$ |
| Malha de tensão | 0,04885 | 1,954 | 25 $ms$ |

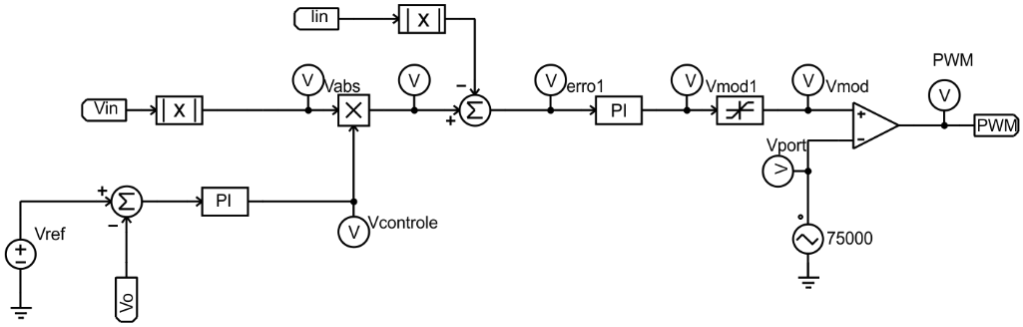



Figura 7. Simulação do circuito de controle no *software* PSIM

O circuito de potência, também simulado por intermédio do software PSIM, é apresentado na Fig. 8.

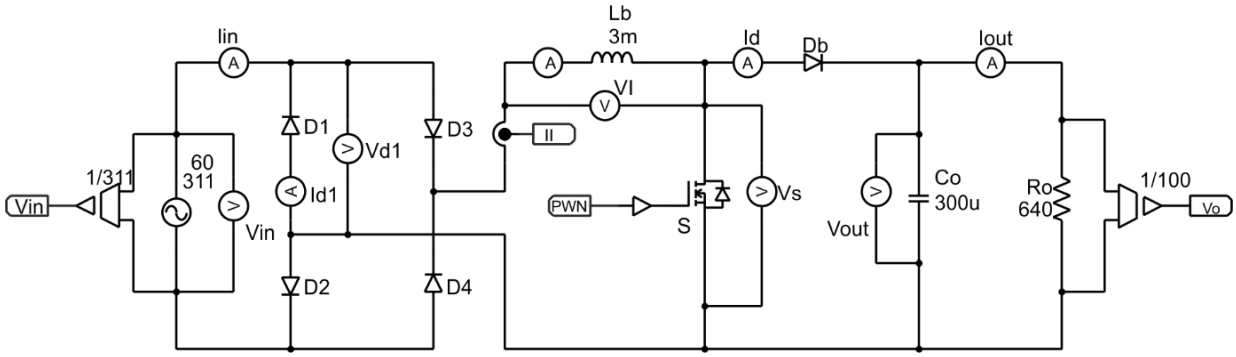



Figura 8. Simulação do circuito de potência no *software* PSIM

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais resultados de simulação são apresentados nessa seção. Primeiramente, valida-se o conversor Boost, evidenciando suas principais formas de onda. Em seguida, faz-se a análise da correção do fator de potência, verificando a eficácia do projeto dos circuitos de potência e controle implementados, além da apuração dos valores obtidos de fator de potência e THD.

### 6.1 Tensão e corrente de saída

A Figura 9 mostra o transitório de tensão de saída $V_o$, que apresenta pequeno *overshoot*, mas segue a referência de tensão em menos de meio segundo.

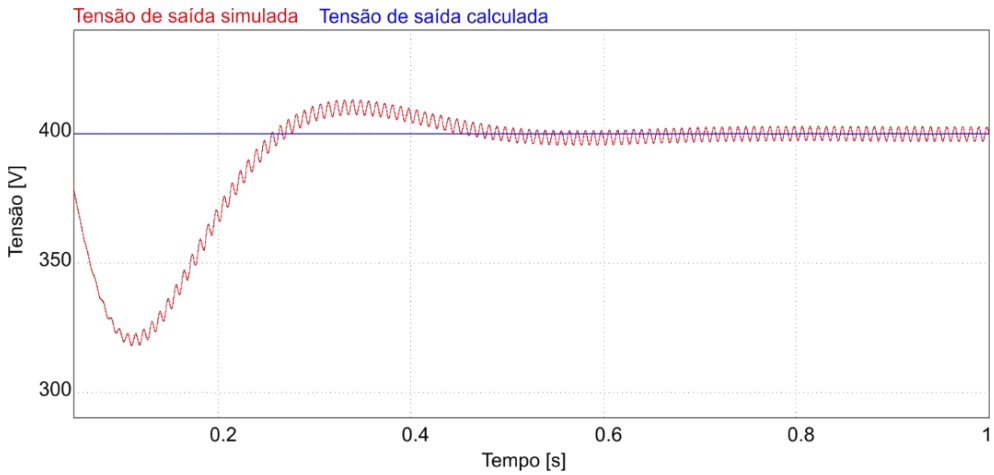



Figura 9. Transitório de tensão de saída do conversor

Verifica-se por meio da Fig. 10 a tensão de saída $V_o$ e a corrente de saída $I_o$ do conversor. Ambos os parâmetros seguem os valores pré-determinados em projeto, com pouca ondulação, sendo 400 V para $V_o$ e 0,625 A para $I_o$, respeitando a potência de saída pré-determinada em 250 W.

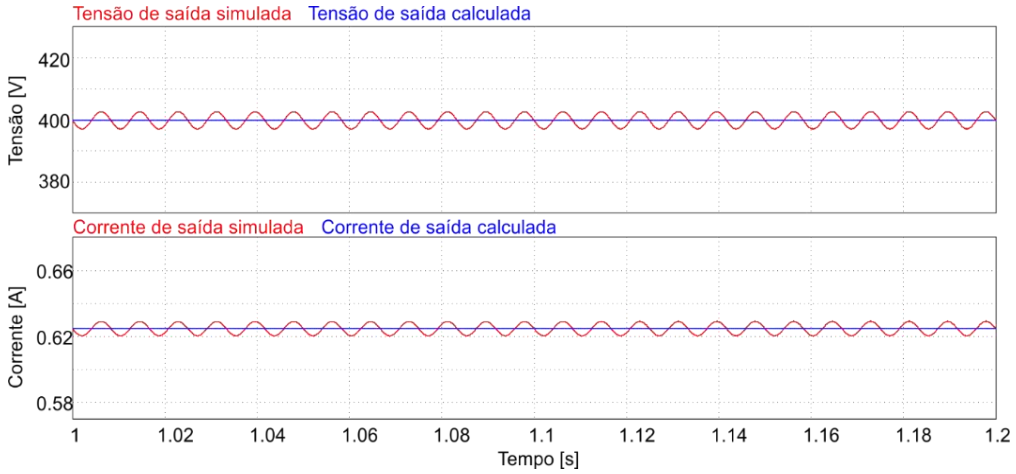



Figura 10. Tensão e corrente de saída em regime permanente

### 6.2 Malha de controle

A malha de controle do sistema tem o objetivo de regular a tensão de saída do circuito de potência, bem como controlar a corrente de entrada de modo a seguir uma referência senoidal, estabelecida pelo próprio circuito de controle.

A Figura 11 mostra a referência de corrente da malha de controle, evidenciando a atuação do controle desde o regime transitório até atingir o regime permanente.

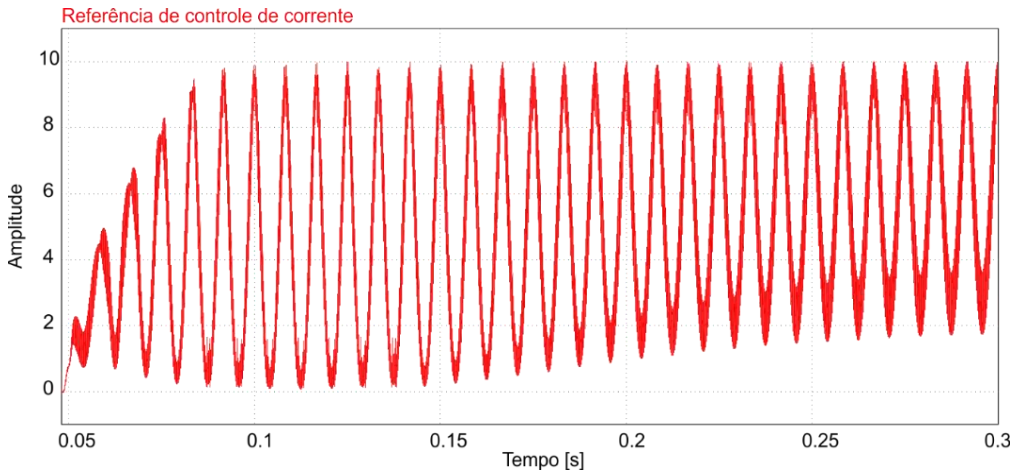



Figura 11. Referência de controle de corrente

### 6.3 Correção de fator de potência e análise harmônica

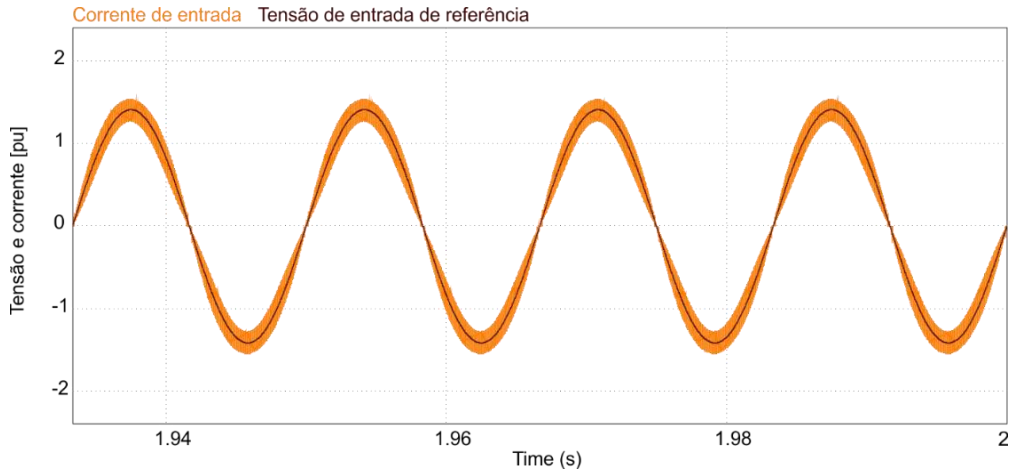



Figura 12. Tensão da rede e corrente de entrada em pu

A Figura 12 representa a tensão da rede e a corrente de entrada, ambos em valores pu. Na simulação, observa-se que ambos os parâmetros estão praticamente sobrepostos, demonstrando a fase entre tensão e corrente.

O espectro harmônico de magnitude da corrente de entrada da Fig. 13, expressa o baixo índice harmônico para o sinal de corrente de entrada. A Tab. 3 evidencia os valores de fator de potência e THD obtidos nas simulações do projeto. O FP alcançado, 0,996 aproxima-se da unidade, enquanto a THD, 9,09 %, prova o baixo índice obtido de distorções harmônicas.

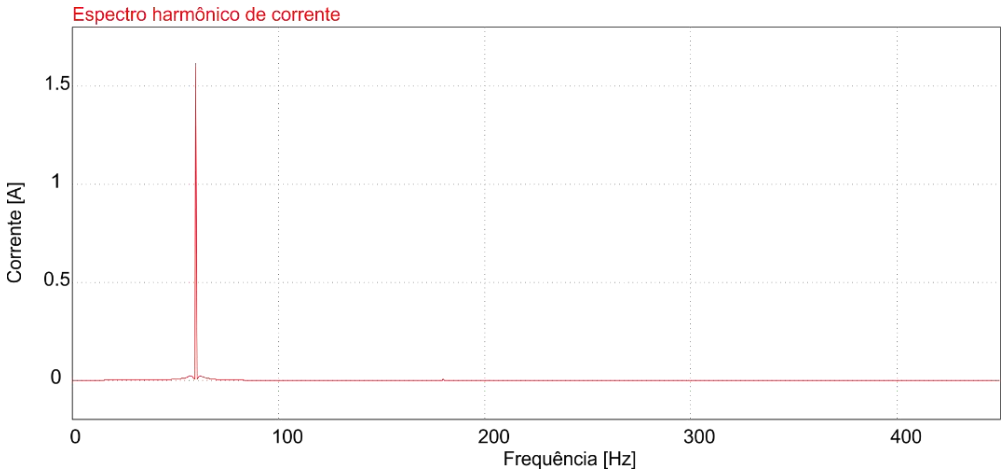



Figura 13. Espectro harmônico da corrente de entrada do conversor

Tabela 3. Valores obtidos de fator de potência e THD

| Parâmetro | Valor |
|---|---|
| FP | 0,996 |
| THD | 9,09 % |

## 7. CONCLUSÃO

Esse projeto teve como objetivo o estudo e projeto do conversor Boost PFC aplicado a instalações rurais. Nesse contexto analisou-se o conversor Boost e a melhor forma de sua implementação. Sendo assim, os projetos dos circuitos de potência e controle foram realizados de acordo com a bibliografia proposta e com auxílio dos *softwares* PSIM e Matlab.

Os resultados obtidos evidenciam boas respostas, de acordo com a bibliografia estudada e os objetivos previstos no PTB, principalmente no que se refere a correção de fator de potência e distorções harmônicas, obtendo-se 0,996 para FP e THD de 9,09 %. Ademais, exalta-se o pleno atendimento do cronograma do PTB.

Além disso, a partir do projeto desenvolvido, abre-se a possibilidade de implementação prática do sistema por meio de protótipo que, posteriormente, possa ser inserido em instalações rurais.

## 8. REFERÊNCIAS

ARRABAÇA, Devair A., GIMENEZM, Salvador P., 2013. *Conversores de Energia Elétrica CC/CC para Aplicações de Eletrônica de Potência*. São Paulo: Érica Ltda.

BELTRAME, Fernando, 2009. *Análise Comparativa de Conversores Monofásicos Aplicados à Correção de Fator de Potência*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UFSM, Santa Maria.

BELTRAME, Rafael Concatto, 2008. *Projeto e Implementação de um Conversor BOOST PFC CCM de 650 W com Entrada Universal de Tensão*. Trabalho de Conclusão de Curso. UFSM, Santa Maria.

BERTOLLO, Humberto Calil, 2008. *Contribuições ao Estudo dos Aterramentos de Sistemas Monofilares com Retorno pelo Terra*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Título de Magister Scientiae) – UFV. Viçosa.

FERRAZ, Willian de Carvalho, 2012. *Modelagem e Simulação de uma Fonte Chaveada com Elevado Fator de Potênica*. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIVAP, São José dos Campos.

GUEDES, José Augusto da Matta, 2000. *Conversor de Tensão Alternada com Entrada Monofásica e Saída Trifásica, para Aplicações Rurais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UFSC, Florianópolis.

HART, Daniel W, 2012. *Eletrônica de Potência: análise e projeto de circuitos*. Porto alegre: Mc Graw Hill.

ROGGIA, Leandro, 2009. *Estudo, Controle e Implementação do Conversor Boost PFC Operando no Modo de Condução Mista*. Dissertação de Mestrado. UFSM, Santa Maria.

SCAPINI, Rafael Zanatta. et al, 2014. "Conversor Monofásico para Trifásico Interativo com Compensação Ativa de Tensão Monofásica". *Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática de Belo Horizonte* - UFSM, Santa Maria.

SOUTO, Marcelo Christian Lopes, 2015. *Conversor Boost PFC com controle digital*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica – Área: Eletrônica de Potência) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville.

## 9. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE TÉCNICA DAS SOBRETENSÕES RESULTANTES DE FALTAS MONOFÁSICAS EM SISTEMAS SUPRIDOS POR GDS OPERANDO ISOLADAMENTE

**Álvaro Bampi**
**Mariana Resener**

Rio Grande Energia – RGE, Avenida São Borja, 2801, São Leopoldo – RS – Brasil
Alvaro-bampi@hotmail.com, mariana.resener@ufrgs.br

**Resumo:** *O presente trabalho avalia diferentes cenários de faltas monofásicas no sistema de média tensão operando isoladamente e suprido por geração distribuída(GD), observando-se as sobretensões resultantes em razão da ligação delta no primário do transformador de acoplamento, e a necessidade de utilização da função de proteção ANSI 59N. Neste contexto, o presente documento propõe-se a contribuir com as questões técnicas, apresentando uma série de simulações realizadas em ATP Draw com apoio do software ASPEN Onliner, de situações onde a geração distribuída de instalações enquadradas no padrão de entrada primário simplificado opera isoladamente em um sistema de distribuição submetido à faltas monofásicas. Considerando a complexidade das redes, não se pretende aqui esgotar todas as possibilidades técnicas possíveis, mas sim, avaliar em que medida cada um dos principais parâmetros envolvidos influencia nas sobretensões resultantes de faltas monofásicas, e também a obrigatoriedade ou não do uso da função de proteção de sobretensão de neutro (ANSI 59N) para estas instalações.*

***Palavras chave:*** *Faltas Monofásicas.GDs operando isoladamente. Sobretensão.*

## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho em que será abordada a área de distribuição, a ANEEL elaborou documentos denominados Procedimentos de Distribuição (PRODIST). "Estes documentos normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica " (ANEEL-PRODIST, 2016).

Com base nas normas da ANEEL e normas vinculadas a concessionaria onde será feito as simulações para este artigo, estas normas utilizam a nomenclatura de GEDs (Gerenciamento Eletrônico de Documentos).

O GED (15303, 2017) estabelece os requisitos técnicos mínimos a serem implementados no micro e minigerações distribuídas a fim de viabilizar a sua conexão às redes da CPFL.

Em seu anexo B.3 onde trata sobre os diagramas unifilares funcionais, esta norma dispõe que as centrais geradoras em postos primários simplificados ou "B" optantes, com potência entre 75 kW e 300 kW, e proteção e medição na BT do transformador (conforme item 11.2.1 do GED 2855,2018), podem utilizar chaves fusíveis como dispositivos de seccionamento visível. Nestes casos não existe cabine primária e a proteção em média tensão é realizada exclusivamente através de chaves fusíveis (desenhos 7 e 8 do GED 2859), dispensando o uso de disjuntor ou religador na MT.

Todavia, elementos normativos e técnicos questionam o padrão atualmente adotado pela empresa, a saber:

O PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, item 5.6.2., seção 3.3, revisão 7, dispõe a respeito do paralelismo de centrais geradoras com o sistema de distribuição indicando que: "o transformador de acoplamento não pode ser protegido por meio de fusíveis (...)".

Na mesma seção do (ANEEL-PRODIST, 2017), o item 5.8. estabelece que: "Não podem ser instalados fusíveis entre a saída do circuito da subestação da acessada e o ponto de conexão com a central geradora de energia".

Do ponto de vista técnico, devido à conexão delta MT dos transformadores (desenhos 7 e 8 do GED 2859,2018), faltas monofásicas no sistema primário de distribuição sustentadas pela geração distribuída conectada a média tensão ocasionam a flutuação do ponto neutro em relação ao potencial de terra, podendo gerar sobretensões nas fases sãs e resultar em avarias de isoladores, para raios e demais elementos da rede ligados e dimensionados para a tensão fase-terra.

No mesmo sentido, a função anti-ilhamento de inversores de frequência de BT, utilizado na proteção de geradoras em CC, pode operar em até 2 segundos, conforme NBR 16149:2013, não resultando em uma proteção efetiva para as sobretensões indicadas no item anterior, dado o elevado lapso temporal para sua atuação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção é abordada a fundamentação teórica utilizada como base para este artigo por meio de pesquisa bibliográfica, e tem por objetivo conceituar os temas envolvidos na pesquisa.

### 2.1 Sistema de distribuição de energia

Os sistemas de energia elétrica são divididos em três grandes subsistemas: Geração, Transmissão e Distribuição. Os geradores, que compõem o sistema de geração, são responsáveis pela produção de energia elétrica, que é entregue aos consumidores finais pelas empresas distribuidoras de energia, as quais compõem o sistema de distribuição. O sistema de transmissão consiste em transportar a energia produzida pelos geradores até as empresas de distribuição. (MARTINS, 2012).

Os sistemas de distribuição aéreos possuem dois tipos de redes, uma em média tensão (rede primária) e a outra em baixa tensão (rede secundária). No Brasil as redes primárias são padronizadas em 13,8kV, 23,1kV e 34,5kV, entretanto tensões diferentes das padronizadas também são aceitas. A rede é um circuito de três condutores ligados em triângulo, podendo ser um condutor para redes longas em zonas rurais, essa rede atende aos clientes com alto consumo de energia (indústrias, condomínios, shoppings) ou são ligadas em transformadores para alimentar a rede secundária (PRODIST, 2012).

### 2.2 Geração Distribuida

Um dos principais enfoques da GD é a possibilidade de uma maior diversificação da tecnologia empregada, o que leva a um uso mais racional das fontes de produção de energia elétrica. A GD é vantajosa frente à geração centralizada, no que diz respeito à economia em investimentos na transmissão e distribuição de energia e à redução das perdas elétricas nesses sistemas, melhorando o serviço de energia elétrica. (MARTINS, 2012).

O acesso ao sistema de distribuição O transformador é importante como um componente ou equipamento auxiliar em diferentes tipos de circuitos elétricos e eletrônicos efetuando a conversão da energia eletromagnética. Opera desde sinais pouco perceptíveis presentes em aparelhos eletrônicos até potentes sinais presentes em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, trabalhando com as mais diversas tensões, correntes e frequências. (FILOMENA, 2008).

Toda rede de distribuição depende, em boa parte dos transformadores, que elevam e rebaixam a tensão de modo a que haja economia de energia durante a transmissão. Ou seja, no sistema elétrico de potência ocorrem mudanças de níveis de tensão na geração, transmissão e na distribuição. Portanto, um transformador pode estar servindo para a mudança de níveis de tensão e de corrente em um sistema elétrico, sem alterar a frequência da onda fundamental. (FILOMENA, 2008).

### 2.3 Definição Geração Distribuida

Segundo (MARTINS, 2012), com as definições governamentais fizeram com que a GD despontasse como uma nova possibilidade de exploração do mercado de energia. Localizada, por definição, próxima dos centros de carga, as unidades geradoras conectadas à rede de distribuição, além de suprirem a energia demandada localmente, possuem condições próprias para desempenhar um papel importante no conjunto do sistema elétrico.

A GD pode ter dois focos de operação: Reserva Descentralizada ou Fonte de Energia. A Reserva Descentralizada funciona como um parque de geração descentralizado, capaz de suprir as mais diversas necessidades como cobertura de apagões localizados ou generalizados, melhoria das condições qualitativas do fornecimento em regiões atendidas de forma deficiente por razões estruturais ou conjunturais momentâneas. (MARTINS, 2012).

Já a operação da GD como Fonte de Energia é essencialmente voltada para o autoconsumo industrial, comercial, residencial ou atendimento público. Nessa condição, pode ou não haver produção de excedentes exportáveis para a concessionária, que deve estar apta a recebê-la. (MARTINS, 2012).

## 3. METODOLOGIA

Quando há uma falta monofásica em um sistema cujo neutro da fonte é isolado da terra (delta ou Y isolado), não existe caminho elétrico para circulação desta corrente pelo neutro. Neste caso, passam a ter importância na análise elementos elétricos normalmente desprezados nos estudos de curto-circuito em sistemas eficazmente aterrados, notadamente as capacitâncias e resistências de sequência zero.

As capacitâncias de sequência zero resultam dos capacitores formados entre as linhas e a terra, e as resistências de sequência zero das correntes de fuga existentes em isoladores.

A Fig. 1, abaixo, apresenta um sistema isolado submetido a uma falta monofásica franca (sem impedância de contato). A direita está o diagrama elétrico, onde é possível verificar que o caminho da corrente de falta se dá pelas resistências e capacitâncias de sequência zero das fases sãs, e o diagrama vetorial, a esquerda, evidencia o deslocamento do potencial de neutro (N) em relação a terra (E), que num sistema eficazmente aterrado é o mesmo ponto. Como "E" e L3 (que é a fase sob falta) assumem o mesmo potencial em razão da falta monofásica, a tensão entre "E" e qualquer das fases sãs passa a ser fase-fase, portanto, raiz de 3 vezes maior. Salienta-se que as cargas ligadas entre fases na média tensão (transformadores de distribuição trifásicos) não sofrem alteração de tensão, apenas elementos ligados entre fase-terra (isoladores, para-raios, transformadores monobucha), com elevação de raiz 3 vezes.

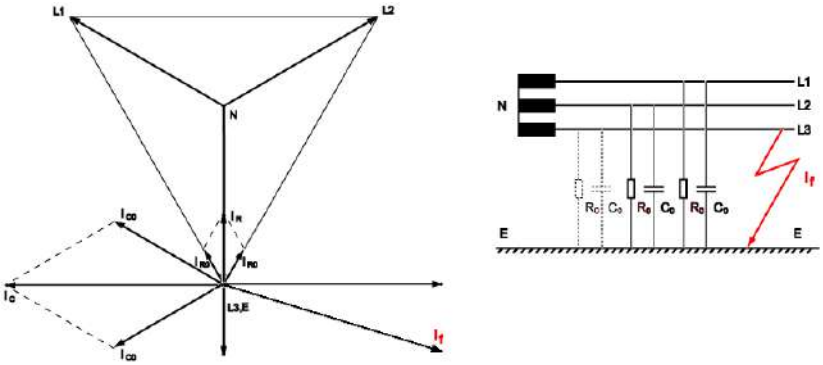



Figura 1. Diagrama vetorial de falta monofásica em sistema isolado.

A Fig. 2, por sua vez, apresenta o diagrama de impedâncias de sequência resultante desta falta, onde é possível notar que a corrente será diretamente dependente das capacitâncias e resistências de sequência zero. Em outras palavras, a corrente resultante será produto da extensão das redes de distribuição e o seu padrão construtivo. Redes mais extensas terão maior valor de corrente de falta do que redes curtas (em razão de terem um maior capacitor natural) e redes com padrão construtivo de condutores isolados terão maior valor de corrente de falta do que redes nus (considerando que a capacitância de cabos isolados também é maior).

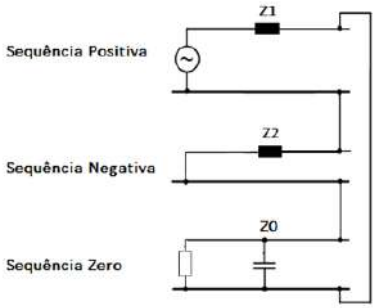



Figura 2. Diagrama de sequência de falta monofásica em sistema isolado.

A Fig. 3 apresenta o caminho elétrico da corrente em todo o sistema de distribuição de uma subestação com neutro isolado, submetido a uma falta monofásica. Salienta-se que apesar de o diagrama apresentar um TR em Y isolado, o mesmo vale para a conexão delta.

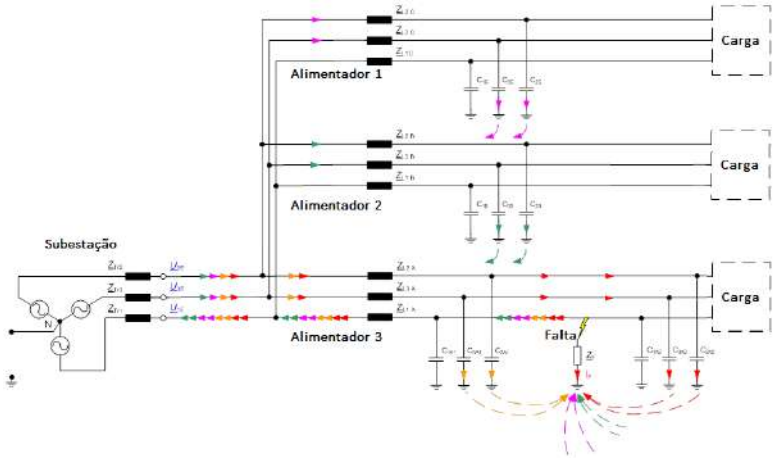



Figura 3. Circulação da corrente de falta em sistema isolado.

As análises realizadas nas simulações consideraram a situação em que:
(i) ocorre uma falta monofásica na rede primária de distribuição;
(ii) é desconectado o sistema da distribuidora pelo trip das proteções de sobrecorrente; e
(iii) a central geradora distribuída mantém a rede de distribuição energizada, mesmo sob falta.

As simulações realizadas consideram a situação (iii), onde permanece a falta monofásica presente e a GD mantém energizado o sistema.

Para esta análise, foram considerados nos modelos elétricos:
a) Parâmetros elétricos de um gerador existente e em operação no sistema da RGE Sul, cadastrado na base de dados do ASPEN Oneliner (0,38 kV e 417 kVA), conforme a Fig. 4.

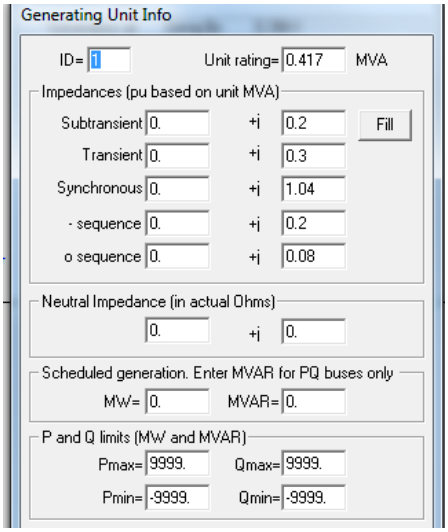



Figura 4. Dados de placa do gerador utilizado nas simulações.

b) Transformador de acoplamento com parâmetros obtidos a partir da ABNT NBR 5440 – Transformadores para redes aéreas de distribuição – Requisitos;

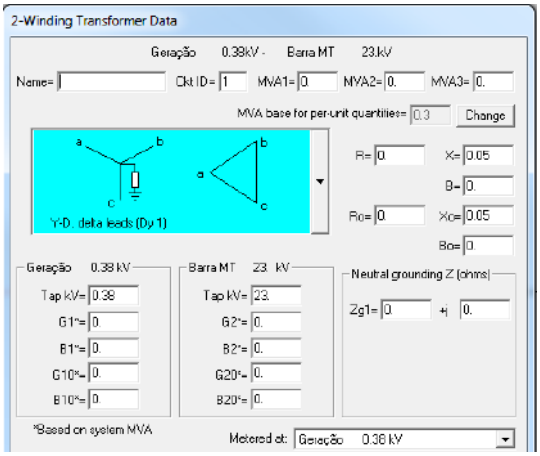



Figura 5. Dados de placa do transformador utilizado nas simulações.

c) 10 km de linhas de média tensão, com condutores padronizados para o sistema de distribuição (rede 3 # 1/0 AWG CA);

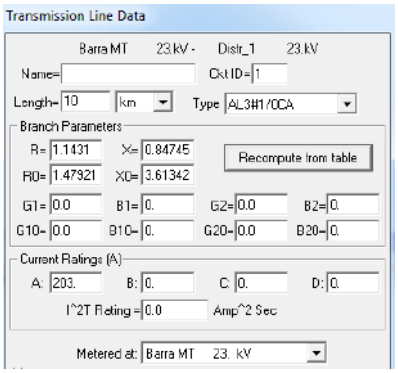



Figura 6. Impedâncias das linhas utilizadas nas simulações.

d) Cargas 50% de potência constante e 50% de impedância constante:

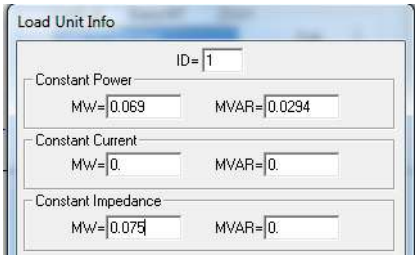



Figura 7. Carga de 150 kVA utilizada nas simulações.

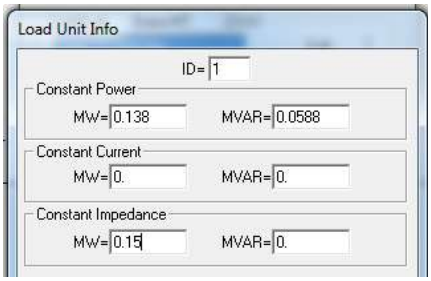



Figura 8. Carga de 300 kVA utilizada nas simulações.

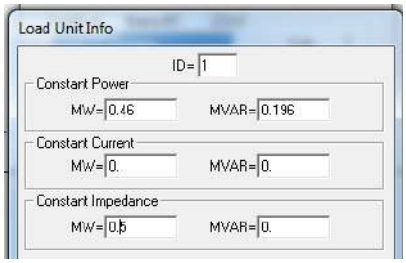



Figura 9. Carga de 1000 kVA utilizada nas simulações.

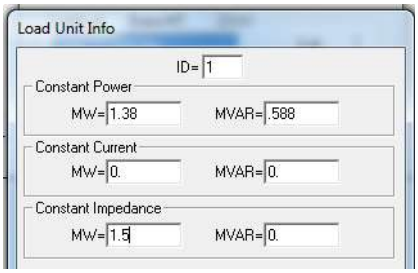



Figura 10. Carga de 3000 kVA utilizada nas simulações.

O modelo-base elaborado em ATP Draw é apresentado na Fig. 11, onde é possível observar uma fonte de 380 V limitada pela impedância "Z Gerador", um transformador de acoplamento de grupo de ligação Dyn1, com impedância de aterramento desprezível no lado de BT, com medidores de tensão e corrente no seu lado primário, uma impedância de linha de 10 km de condutor 3 # 1/0 CA, cargas de potência e impedância constante ligadas ao final dessa linha, assim como uma falta monofásica.

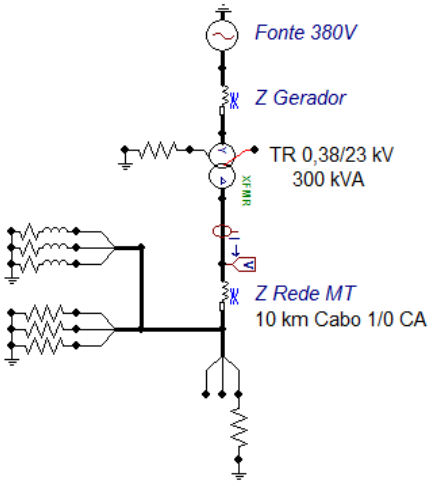



Figura 11. Modelo elétrico utilizado nas simulações.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do modelo-base da Fig. 11, passou-se a alterar os seus parâmetros e observar o comportamento das grandezas elétricas durante as faltas, sendo avaliados quais elementos tem influência direta nos resultados e em que medida alteram as sobretensões oriundas de faltas monofásicas no sistema de média tensão.

Os parâmetros alterados nas faltas foram:

- Impedância de contato de curto-circuito, observando-se falta franca (R = 0 Ω), falta com impedância mínima (R = 40 Ω), falta de alta impedância (R = 1000 Ω) e falta de altíssima impedância (R=10 kΩ);
- Potência de carga do sistema, observando-se a condição de subcarregamento (Pg > Pc), carregamento pleno (Pg = Pc), e sobrecarregamento (Pg > Pc e Pg >> Pc), onde Pg é Potência Gerada e Pc é Potência de Carga;
- Distância da carga, observando-se a carga junto à geração e a 10 km de distância da geração;
- Distância da falta, observando-se a falta junto à geração e a 10 km de distância da geração.

Considerando essas condições foram realizadas 80 simulações, cruzando todas as situações e os resultados são apresentados a seguir, no item 6.

Salienta-se que outras situações pontuais não previstas poderão ser simuladas a partir do modelo desenvolvido, a fim de avaliar outros aspectos não abrangidos neste estudo.

Tabela 1. Resultado das simulações – Falta MT monofásica sustentada pela GD.

| DADOS DE ENTRADA | | | | | | | | RESULTADOS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Simulação | G (kVA) | Distância SE Carga [km] | Distância SE Falta [km] | Z contato [Ω] | Carga Scte (kVA) | Carga Zcte (kVA) | S [pu] | VA [pu] | VB [pu] | VC [pu] | IA [pu] | IB [pu] | IC [pu] |
| 1 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 300 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 300 | 0 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 300 | 0 | 0 | 10000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 300 | 0 | 0 | 0 | 75 | 75 | 0,50 | 0,00 | 1,70 | 1,47 | 1,32 | 0,72 | 0,83 |
| 6 | 300 | 0 | 0 | 40 | 75 | 75 | 0,50 | 0,03 | 1,46 | 1,67 | 1,30 | 0,71 | 0,82 |
| 7 | 300 | 0 | 0 | 1000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,43 | 1,27 | 1,32 | 0,97 | 0,62 | 0,65 |
| 8 | 300 | 0 | 0 | 10000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,86 | 1,03 | 1,02 | 0,57 | 0,51 | 0,50 |
| 9 | 300 | 0 | 0 | 0 | 150 | 150 | 1,00 | 0,00 | 1,24 | 1,60 | 2,30 | 1,21 | 1,56 |
| 10 | 300 | 0 | 0 | 40 | 150 | 150 | 1,00 | 0,05 | 1,23 | 1,56 | 2,24 | 1,20 | 1,53 |
| 11 | 300 | 0 | 0 | 1000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,56 | 1,09 | 1,16 | 1,53 | 1,07 | 1,14 |
| 12 | 300 | 0 | 0 | 10000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,88 | 0,96 | 0,96 | 1,02 | 0,94 | 0,94 |
| 13 | 300 | 0 | 0 | 0 | 500 | 500 | 3,33 | 0,00 | 1,08 | 0,72 | 4,15 | 2,34 | 3,52 |
| 14 | 300 | 0 | 0 | 40 | 500 | 500 | 3,33 | 0,09 | 0,73 | 1,04 | 4,03 | 2,39 | 3,41 |
| 15 | 300 | 0 | 0 | 1000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,59 | 0,77 | 0,83 | 2,97 | 2,52 | 2,70 |
| 16 | 300 | 0 | 0 | 10000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,74 | 0,76 | 0,77 | 2,54 | 2,49 | 2,50 |
| 17 | 300 | 0 | 0 | 0 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,00 | 0,39 | 0,49 | 4,91 | 3,80 | 4,85 |
| 18 | 300 | 0 | 0 | 40 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,09 | 0,40 | 0,50 | 4,82 | 3,91 | 4,71 |
| 19 | 300 | 0 | 0 | 1000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,37 | 0,42 | 0,43 | 4,29 | 4,14 | 4,24 |
| 20 | 300 | 0 | 0 | 10000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 4,17 | 4,15 | 4,17 |
| 21 | 300 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 22 | 300 | 10 | 10 | 40 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23 | 300 | 10 | 10 | 1000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24 | 300 | 10 | 10 | 10000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25 | 300 | 10 | 10 | 0 | 75 | 75 | 0,50 | 0,01 | 1,47 | 1,69 | 1,31 | 0,72 | 0,83 |
| 26 | 300 | 10 | 10 | 40 | 75 | 75 | 0,50 | 0,03 | 1,46 | 1,67 | 1,29 | 0,71 | 0,82 |
| 27 | 300 | 10 | 10 | 1000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,43 | 1,26 | 1,32 | 0,96 | 0,62 | 0,65 |
| 28 | 300 | 10 | 10 | 10000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,87 | 1,03 | 1,02 | 0,57 | 0,50 | 0,50 |
| 29 | 300 | 10 | 10 | 0 | 150 | 150 | 1,00 | 0,01 | 1,23 | 1,59 | 2,28 | 1,20 | 1,55 |
| 30 | 300 | 10 | 10 | 40 | 150 | 150 | 1,00 | 0,06 | 1,22 | 1,55 | 2,22 | 1,20 | 1,51 |
| 31 | 300 | 10 | 10 | 1000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,56 | 1,09 | 1,16 | 1,52 | 1,06 | 1,13 |
| 32 | 300 | 10 | 10 | 10000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,88 | 0,96 | 0,96 | 1,01 | 0,94 | 0,94 |
| 33 | 300 | 10 | 10 | 0 | 500 | 500 | 3,33 | 0,02 | 0,72 | 1,07 | 4,09 | 2,32 | 3,46 |
| 34 | 300 | 10 | 10 | 40 | 500 | 500 | 3,33 | 0,10 | 0,73 | 1,04 | 3,97 | 2,37 | 3,36 |
| 35 | 300 | 10 | 10 | 1000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,60 | 0,77 | 0,83 | 2,93 | 2,49 | 2,67 |
| 36 | 300 | 10 | 10 | 10000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,74 | 0,76 | 0,77 | 2,51 | 2,46 | 2,48 |
| 37 | 300 | 10 | 10 | 0 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,02 | 0,40 | 0,50 | 4,83 | 3,76 | 4,76 |
| 38 | 300 | 10 | 10 | 40 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,11 | 0,41 | 0,49 | 4,74 | 3,86 | 4,63 |
| 39 | 300 | 10 | 10 | 1000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,38 | 0,43 | 0,44 | 4,23 | 4,07 | 4,18 |
| 40 | 300 | 10 | 10 | 10000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 4,11 | 4,09 | 4,10 |
| 41 | 300 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 42 | 300 | 0 | 10 | 40 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 43 | 300 | 0 | 10 | 1000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 44 | 300 | 0 | 10 | 10000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 45 | 300 | 0 | 10 | 0 | 75 | 75 | 0,50 | 0,01 | 1,46 | 1,69 | 1,32 | 0,72 | 0,83 |
| 46 | 300 | 0 | 10 | 40 | 75 | 75 | 0,50 | 0,03 | 1,45 | 1,67 | 1,29 | 0,71 | 0,82 |
| 47 | 300 | 0 | 10 | 1000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,43 | 1,26 | 1,32 | 1,90 | 0,62 | 0,65 |
| 48 | 300 | 0 | 10 | 10000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,87 | 1,03 | 1,02 | 0,57 | 0,51 | 0,50 |
| 49 | 300 | 0 | 10 | 0 | 150 | 150 | 1,00 | 0,01 | 1,23 | 1,59 | 2,28 | 1,20 | 1,56 |
| 50 | 300 | 0 | 10 | 40 | 150 | 150 | 1,00 | 0,06 | 1,22 | 1,55 | 2,22 | 1,19 | 1,52 |
| 51 | 300 | 0 | 10 | 1000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,56 | 1,09 | 1,16 | 1,53 | 1,06 | 1,14 |
| 52 | 300 | 0 | 10 | 10000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,88 | 0,96 | 0,96 | 1,02 | 0,94 | 0,94 |
| 53 | 300 | 0 | 10 | 0 | 500 | 500 | 3,33 | 0,03 | 0,71 | 1,07 | 4,08 | 2,32 | 3,49 |
| 54 | 300 | 0 | 10 | 40 | 500 | 500 | 3,33 | 0,10 | 0,73 | 1,04 | 3,97 | 2,38 | 3,39 |
| 55 | 300 | 0 | 10 | 1000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,59 | 0,77 | 0,83 | 2,97 | 2,52 | 2,70 |
| 56 | 300 | 0 | 10 | 10000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,74 | 0,76 | 0,77 | 2,54 | 2,49 | 2,50 |
| 57 | 300 | 0 | 10 | 0 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,03 | 0,39 | 0,49 | 4,82 | 3,80 | 4,80 |
| 58 | 300 | 0 | 10 | 40 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,10 | 0,40 | 0,48 | 4,76 | 3,91 | 4,69 |
| 59 | 300 | 0 | 10 | 1000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,37 | 0,42 | 0,43 | 4,29 | 4,14 | 4,24 |
| 60 | 300 | 0 | 10 | 10000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 4,17 | 4,15 | 4,17 |
| 61 | 300 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 62 | 300 | 10 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 63 | 300 | 10 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 64 | 300 | 10 | 0 | 10000 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 65 | 300 | 10 | 0 | 0 | 75 | 75 | 0,50 | 0,00 | 1,47 | 1,70 | 1,32 | 0,72 | 0,83 |
| 66 | 300 | 10 | 0 | 40 | 75 | 75 | 0,50 | 0,03 | 1,46 | 1,67 | 1,29 | 0,71 | 0,82 |
| 67 | 300 | 10 | 0 | 1000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,43 | 1,27 | 1,32 | 0,96 | 0,62 | 0,65 |
| 68 | 300 | 10 | 0 | 10000 | 75 | 75 | 0,50 | 0,86 | 1,03 | 1,02 | 0,57 | 0,50 | 0,50 |
| 69 | 300 | 10 | 0 | 0 | 150 | 150 | 1,00 | 0,00 | 1,24 | 1,59 | 2,29 | 1,20 | 1,56 |
| 70 | 300 | 10 | 0 | 40 | 150 | 150 | 1,00 | 0,05 | 1,23 | 1,55 | 2,23 | 1,20 | 1,52 |
| 71 | 300 | 10 | 0 | 1000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,56 | 1,09 | 1,16 | 1,53 | 1,06 | 1,14 |
| 72 | 300 | 10 | 0 | 10000 | 150 | 150 | 1,00 | 0,88 | 0,96 | 0,96 | 1,01 | 0,94 | 0,94 |
| 73 | 300 | 10 | 0 | 0 | 500 | 500 | 3,33 | 0,00 | 0,73 | 1,08 | 4,10 | 2,31 | 3,48 |
| 74 | 300 | 10 | 0 | 40 | 500 | 500 | 3,33 | 0,08 | 0,74 | 1,04 | 3,99 | 2,36 | 3,38 |
| 75 | 300 | 10 | 0 | 1000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,59 | 0,78 | 0,83 | 2,95 | 2,50 | 2,67 |
| 76 | 300 | 10 | 0 | 10000 | 500 | 500 | 3,33 | 0,74 | 0,76 | 0,77 | 2,52 | 2,46 | 2,48 |
| 77 | 300 | 10 | 0 | 0 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,00 | 0,41 | 0,50 | 4,84 | 3,74 | 4,78 |
| 78 | 300 | 10 | 0 | 40 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,09 | 0,42 | 0,49 | 4,77 | 3,85 | 4,66 |
| 79 | 300 | 10 | 0 | 1000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,38 | 0,43 | 0,44 | 4,24 | 4,08 | 4,18 |
| 80 | 300 | 10 | 0 | 10000 | 1500 | 1500 | 10,00 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 4,11 | 4,09 | 4,10 |

A tabela 1 apresenta 80 simulações de diferentes situações de falta monofásica. Os dados de entrada da tabela apresentam as condições que foram realizadas as simulações (distância da falta, distância das cargas, impedância de contato e potência das cargas). Já os resultados são as grandezas elétricas (tensão e corrente) medidas no lado primário do transformador de acoplamento da GD, conforme Fig. 8.

Para facilitar as análises, foram colocados em vermelho os resultados onde as sobretensões violam os limites de TENSÃO ADEQUADA definidos no módulo 8 do PRODIST – Qualidade da Energia, no valor de 1,05 pu. As situações em que há este destaque em vermelho indicam problema, sendo uma condição nociva para os elementos ligados fase-terra no sistema de distribuição.

Em azul estão os valores de corrente acima de 1,0 pu da potência de geração instalada (considerando Pg = 300 kVA). Estes casos são importantes, pois indicam operação das proteções contra sobrecarga da GD.

Assim, merecem destaque aqueles casos onde há indicação de sobretensão em vermelho, mas não há indicação de operação de proteção de sobrecarga em azul. Isto porque, nestas situações, caso não haja proteção de sobretensão de neutro (ANSI 59N) instalada no sistema de média tensão, o mesmo poderá ficar operando indefinidamente com tensão fase-terra acima dos valores do PRODIST trazendo riscos de segurança pessoal e operacional.

A seguir é avaliado cada um dos parâmetros através de uma análise comparativa:

a) Distância entre as cargas ligadas na rede de distribuição e a GD durante a falta monofásica

As simulações 1 a 20 e 41 a 60 apresentam os casos onde as cargas ligadas no sistema de distribuição localizam-se no mesmo nó que a GD. As demais simulações consideraram as cargas ligadas a 10 km de distância da GD.

Realizando uma análise comparativa de resultados pode-se concluir que a distância das cargas não influi numa maior ou menor magnitude das sobretensões resultantes nas fases sãs, e também não há influência significativa nas correntes medidas.

b) Distância entre a falta monofásica e a GD

As simulações 1 a 20 e 61 a 80 apresentam os casos onde a falta foi simulada no nós de conexão da GD ao sistema primário da distribuidora. Nos demais casos, a simulação considerou a falta localizada a 10 km da GD.

Realizando uma análise comparativa de resultados pode-se concluir que a distância das faltas em relação à GD não influi numa maior ou menor magnitude das sobretensões resultantes nas fases sãs, e também não há influência significativa nas correntes medidas.

c) Montante de carga ligado ao sistema e a influência da Z de contato

Observando os resultados da tabela 3, verifica-se que a carga ligada é o aspecto mais relevante nos resultados.

O sistema a vazio, Pc = 0 (sem a presença de cargas), é a situação mais crítica de falta, independente da impedância de contato de falta. Neste caso, a tensão nas fases sãs atinge 1,73 pu e a corrente medida é zero. Portanto, a proteção 59N é essencial para garantir o desligamento da rede, a fim de evitar sobretensão sustentada nas fases sãs por tempo indefinido.

O sistema subcarregado, onde Pg > Pc, também apresenta sobretensões relevantes, próximas de 1,7 pu, sendo que a impedância de contato reduz sensivelmente tais sobretensões. Quanto maior a impedância de contato de falta, menor a sobretensão resultante nas fases sãs, sendo que para 1 kΩ de impedância, ainda assim as sobretensões resultam acima dos valores adequados do PRODIST. Avaliando as correntes para uma falta monofásica neste sistema, não há garantias de operação das proteções de sobrecarga da GD.

Já o sistema com equilíbrio entre geração e carga, onde Pg = Pc, também existem sobretensões nas fases sãs relevantes de até 1,6 pu, mas, por outro lado, as sobrecorrentes resultantes também indicam operação das proteções de sobrecarga da GD, considerando valores de pelo menos 1,5 pu de corrente.

Indica-se para esses casos uma análise maior a respeito da influência das características das cargas (Pcte e Zcte), já que as análises realizadas consideraram 50% de cada tipo. Assim, se poderá ter maior certeza da operação das proteções de sobrecorrente.

Sobre a influência da impedância de contato para esses casos, importante considerar que quanto maior o Z, menor a sobretensão e também a sobrecorrente medida no primário do transformador de acoplamento.

Por fim, o caso onde há mais carga do que geração, onde Pg < Pc, não há sobretensões relevantes e em todos os casos simulados há uma relativa segurança de operação das proteções de sobrecarga da GD.

Na presença de cargas de maior potência verifica-se que a impedância de contato de falta não representa grande influência nos resultados.

## 5. CONCLUSÃO

Considerando as simulações de falta realizadas neste estudo, buscando observar as condições que mais influenciam nas sobretensões resultantes de uma GD suprindo uma falta monofásica na rede primária, conclui-se que os aspectos de: (i) distância das cargas e (ii) distância da falta, pouco relevantes para os resultados. Já o aspecto (iii) impedância de contato, relativamente importante nas simulações, mas (iv) balanço entre Potência Gerada x Carga, definitivamente, é o item de maior importância.

A situação de subcarregamento, em que a Potência Gerada é maior que a Carga representa o principal risco ao sistema. Isto porque é o caso onde as sobretensões nas fases sãs são mais críticas e não há garantias de que as correntes

de carga façam operar o sistema de proteção contra sobrecargas da GD. Portanto, nestes casos é imprescindível a existência da proteção 59N para garantir a desconexão automática da central geradora, evitando sustentar sobretensões nocivas ao sistema.

As situações de equilíbrio entre Potência Gerada e Carga há sobretensões relevantes, mas nos casos simulados há também indicação de operação das proteções de sobrecarga da GD. Portanto, a função 59N não seria tão crítica, mas indica-se, de qualquer forma, uma análise mais pontual a respeito do desempenho dos diferentes tipos de carga (Scte e Zcte), a fim de se ter maior certeza a respeito da sobrecorrente resultante para diferentes cenários.

Nos casos em que a Carga é maior que a potência gerada, as sobretensões não são tão relevantes e há também maior segurança na operação das proteções de sobrecarga da GD. Assim, a função 59N não teria fundamental importância neste caso, considerando a operação das proteções de sobrecorrente do gerador.

Itens adicionais a serem considerados:

- Nas simulações foi considerada somente uma geração. É extremamente importante considerar a pluralidade de GDs ligadas x Carga numa análise mais ampla, e o balanço entre essa pluralidade. A cada nova GD conectada deve-se ter certeza de que no período de carga leve do sistema e condições de manobra/contingência garantirão, ainda assim, a existência de carga superior à geração para que esta(s) opere(m) pelas proteções de sobrecarga (51, 67, etc.).

- Situação similar às simuladas ocorre nos sistemas de microgeração distribuídas conectadas em BT, considerando que estão ligadas aos transformadores de distribuição com o mesmo tipo de ligação (Dyn). Deve-se considerar, neste caso, que há uma série de gerações em paralelo.

- O efeito de sobretensão nas fases sãs independe do tipo de geração. O que irá variar será o tempo de trip do sistema de proteção adotado.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 16149:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. PRODIST Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição

ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasilia, 2008.

CPFL ENERGIA. GED 2855: Fornecimento em Tensão Primária 15kV, 25kV e 34,5kV - Volume 1_2. 2018.

CPFL ENERGIA. GED 2859: Fornecimento em Tensão Primária 15kV, 25kV e 34,5kV - Volume 4.1 – Desenhos. 2018.

CPFL ENERGIA. GED 15303: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica. 2018.

CPFL ENERGIA. GED 15303: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica. 2019.

MARTINS, Cicéli. Avaliação dos impactos da geração distribuída para proteção do sistema elétrico. Belo Horizonte, 2012. 151 f. Monografia de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, Marcelo. Avaliação de metodologias de cálculo de perdas técnicas em sistemas de distribuição de energia elétrica. Ilha Solteira, 2009. 137 f. Monografia de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DE CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA DE BAIXA TENSÃO

**Álvaro Bampi**
**Sérgio Bordignon**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Avenida Sete de Setembro, 1621, Erechim – RS – Brasil
Alvaro-bampi@hotmail.com, sbordignon@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O presente trabalho apresenta a importância da modernização das redes de baixa tensão e com base nesta melhoria avalia-se as perdas técnicas, circuitos carregados, transformadores em desequilíbrio de fases, fora do centro de carga e com problemas de níveis de tensão. A modernização de redes de baixa tensão está ligada diretamente na retirada dos condutores convencionais para a instalação de condutores isolados. Esta melhoria também pode ser feita através da substituição ou divisão de circuitos acrescentando um novo transformador. Com a modernização de seus condutores, os circuitos melhoraram em relação as quedas de tensão e impactos ambientais, reduz-se a frequência e longas faltas de energia ao consumidor final. Neste trabalho foram utilizados três projetos que se encontram em situação de alto índice de Duração e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC e FEC), com auxílio de um software GISD e cálculos que Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) dispõe nos seus módulos de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Para análise das perdas técnicas, estudou-se as várias possibilidades de melhoria em relação ao aumento do desempenho do circuito de baixa tensão, mostrando as diversas formas de aperfeiçoamento do circuito em cada projeto proposto. Com estas informações e com os cálculos de perdas técnicas, apresentou-se os dados obtidos através de tabelas e gráficos fazendo um comparativo das diversas formas de aplicação.*

***Palavras chave:*** *Perdas Técnicas. Modernização de Redes de baixa tensão (PMD). Redes de Distribuição de energia de Baixa Tensão.*

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil o atendimento ao consumidor final é realizado pelas distribuidoras de energia elétrica. Na maioria dos estados, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, a área de concessão ainda corresponde aos limites geográficos estaduais; em outros, como no Rio Grande do Sul, onde será feito o estudo, existem concessionárias com áreas de abrangência menores que a do Estado. Há, também, áreas de concessão descontínuas, que ultrapassam os limites geográficos do estado-sede da concessionária (ANEEL, 2008).

Com base nos dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), o Brasil possui 114 distribuidoras de energia elétrica, sendo 63 concessionárias e 38 permissionárias, além de 13 cooperativas de eletrização rural, que atuam sob autorização precária e estão em processo de regularização para serem concessionárias ou permissionárias.

Os direitos e obrigações dessas companhias são estabelecidos no Contrato de Concessão celebrado com a União para a exploração do serviço público em sua área de concessão. (ANEEL, 2008). Deve seguir as formatações apresentadas neste modelo.

Os Contratos de Concessão e as atividades desenvolvidas são estritamente reguladas e fiscalizadas pela ANEEL. O objetivo da Agência é, de um lado, assegurar ao consumidor, o pagamento de um valor justo e o acesso a um serviço contínuo e de qualidade e, de outro, garantir à distribuidora o equilíbrio econômico-financeiro necessário ao cumprimento do Contrato de Concessão. (ANEEL, 2008).

Para que a energia elétrica produzida seja fornecida ao consumidor final de forma adequada, existem órgãos públicos que regulamentam as ações destes três grupos, tanto na parte operativa, quanto jurídica e administrativamente. No Brasil, o órgão responsável por garantir e controlar o suprimento de energia elétrica é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), e para a regulamentação e fiscalização das atividades do setor elétrico tem-se a ANEEL. (OLIVEIRA, 2009).

A ANEEL elaborou documentos denominados Procedimentos de Distribuição (PRODIST). “Estes documentos normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica ” (ANEEL-PRODIST, 2016).

Para a otimização e modernização das redes de baixa tensão são medidos os indicadores pelas distribuidoras através dos índices de Duração Equivalente de interrupção por unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de interrupção por unidade Consumidora (FEC) que são controlados juntamente pela ANEEL sujeito a penalidades se não atendidos os padrões estabelecidos. O DEC e o FEC têm uma relação direta com os circuitos de baixa tensão (BT) em que implica fatores como perdas de energia, quedas de tensão, impactos ambientais, transformadores sobrecarregados e ou fora do centro de carga.

Para armazenar as informações de DEC e FEC as concessionárias criam um banco de dados e armazenam informações referentes aos eventos ocorridos onde há interrupção de energia avaliando o porquê da ocorrência, assim com base nestes dados é feito uma análise de todos os circuitos de redes de BT e selecionados os piores casos para melhoria da rede de distribuição.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção é abordada a fundamentação teórica utilizada como base para este artigo por meio de pesquisa bibliográfica, e tem por objetivo conceituar os temas envolvidos na pesquisa.

### 2.1 Sistema de distribuição de energia

Os sistemas de distribuição aéreos possuem dois tipos de redes, uma em média tensão (rede primária) e a outra em baixa tensão (rede secundária). No Brasil as redes primárias são padronizadas em 13,8kV, 23,1kV e 34,5kV, entretanto tensões diferentes das padronizadas também são aceitas. A rede é um circuito de três condutores ligados em triângulo, podendo ser um condutor para redes longas em zonas rurais, essa rede atende aos clientes com alto consumo de energia (indústrias, condomínios, shoppings) ou são ligadas em transformadores para alimentar a rede secundária (PRODIST, 2012).

As redes secundárias são padronizadas em 127/220 e 220/380 (fase-neutro/fase-fase, respectivamente) em circuitos trifásicos com quatro condutores em ligação estrela, e em redes monofásicas, com três condutores, são padronizadas em 254/127 e 440/220.

Essas redes secundárias atendem a clientes com baixo consumo de energia como, por exemplo, residências e lojas comerciais (PRODIST, 2012).

Nos sistemas de distribuição de energia elétrica de baixa tensão as concessionárias estão optando por padronizar a substituição de rede convencional (nua) para rede multiplexada (isolada), pois o sistema convencional "está exposto a todas as influências do meio (tempestade, raio, ventania, acumulo de poeira, excesso de umidade, arborização, etc) ".

### 2.2 Transformadores de distribuição

O transformador é importante como um componente ou equipamento auxiliar em diferentes tipos de circuitos elétricos e eletrônicos efetuando a conversão da energia eletromagnética. Opera desde sinais pouco perceptíveis presentes em aparelhos eletrônicos até potentes sinais presentes em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, trabalhando com as mais diversas tensões, correntes e frequências. (FILOMENA, 2008).

Toda rede de distribuição depende, em boa parte dos transformadores, que elevam e rebaixam a tensão de modo a que haja economia de energia durante a transmissão. Ou seja, no sistema elétrico de potência ocorrem mudanças de níveis de tensão na geração, transmissão e na distribuição. Portanto, um transformador pode estar servindo para a mudança de níveis de tensão e de corrente em um sistema elétrico, sem alterar a frequência da onda fundamental. (FILOMENA, 2008).

### 2.3 Perdas técnicas e não técnicas

Segundo (OLIVEIRA, 2009), ele divide as perdas de energia elétrica em duas partes as técnicas e não-técnicas em que empresas de distribuição de energia elétrica, sempre analisam com grande atenção para redução das mesmas. Essas perdas podem significar redução de faturamento nas empresas de distribuição de energia, considerando que uma grande maioria das distribuidoras compram energia elétrica de geradoras, que transportam esta energia desde as redes de transmissão/subtransmissão até o ponto de consumo; e vendem ao consumidor final. Para então, conseguir um faturamento melhor, as empresas buscam ações para diminuir os índices de perdas com um investimento que seja acessível.

### 2.4 Qualidade de energia

A qualidade de energia é um assunto que está sendo fortemente usado nas diversas áreas da energia elétrica, principalmente por empresas fornecedoras e distribuidoras de energia elétrica, pois com energia entregue com qualidade para o consumidor final têm-se índices favoráveis que são analisados pela ANEEL. É uma forma de medir o quão bem a

energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores. Este trabalho também, tem como finalidade melhorar a qualidade de energia modernizando as redes de baixa tensão e/ou substituindo transformador.

As concessionárias, fornecedoras de energia elétrica, tem a qualidade da energia monitorada através de indicadores específicos de continuidade, denominados de DEC e FEC. O DEC exprime o número de horas, que em média, um consumidor fica sem energia elétrica durante o período, geralmente mensal. Outro índice também utilizado o FEC, que indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora (residência, comércio, indústria, etc.). As metas de DEC e FEC, a serem observadas pelas concessionárias, estão definidas em Resolução específica da ANEEL. (CORRÊA, 2007)

A qualidade de energia não está voltada somente para DEC e FEC, está ligada também as perdas técnicas e não técnicas que estão ligadas diretamente na qualidade do produto (energia elétrica).

## 3. METODOLOGIA

Inicialmente, foi definido as escolhas dos estudos onde foram analisados os eventos ocorridos nos últimos três anos com base em suas perdas técnicas, condutores e situações em desequilíbrio de fases assim definindo os circuitos de BT que necessitam melhorias, após a escolha dos mesmos foram definidos 5 métodos para análise dos mesmos.

As simulações foram realizadas em uma concessionária do estado do Rio Grande do Sul, os estudos utilizados são obras que serão executadas no decorrer do ano de 2019 pela concessionária, a análise dos estudos baseou-se nas informações obtidas na concessionária juntamente com as normas técnicas.

Foram utilizados os *softwares* GISD, onde são obtidos os valores de consumo de energia, níveis de tensão, carregamento do transformador (TR), quantidade de consumidores, comprimento dos circuitos e através dele são feitos os projetos de melhoria dos circuitos de (BT), e Google Earth para visualização do circuito no local existente.

Para verificar a situação dos circuitos foram utilizados métodos de sobrecarga, níveis de tensão, TR fora do centro de carga, balanceamento de fases e perdas técnicas, com base nas informações obtidas pelos tipos de eventos conforme Fig. 1 e posteriormente a verificação da situação do TR e rede de BT no software GISD.

| Eventos Totais | | | Eventos Secundária | | | Eventos Secundária Sobrecarga | | | Eventos Secundária Condutor | | | Eventos Secundaria Vegetal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 1. Tipologia dos eventos encontrados em circuitos de BT pela concessionária.

1º método - Um circuito em sobrecarga tem grande possibilidade de curtos circuitos na rede de BT, devido as altas correntes provenientes de sobrecargas que percorrem o condutor, segundo as técnicas apresentadas em Filomena, 2008.

Para verificar um TR em sobrecarga inicialmente verificou-se as informações dos eventos e posteriormente foi analisado o TR existente no software GISD se o consumo do mesmo for superior que sua carga nominal mostra que o TR se encontra em sobrecarga a Fig. 2 mostra um circuito com TR de 75kVA trabalhando com uma sobrecarga de 273,48% com um total de 157,58kVA.

| Dispositivo | Pior Tensão FN(V) | Pior Queda Tensão(%) | Pior Corrente(A) | Pior Carregamento(%) | KVA Total(kVA) |
|---|---|---|---|---|---|
| Posto Transformador (757-9) ABC (ID: 1.301-0.709) | 206.317 V | 5.960 % | 311.636 A | 273.483 % | 157.58 kVA |
| Vão Secundário ABC 3A02(A04) | 201.964 V | 7.944 % | 157.514 A | 104.314 % | 0.00 kVA |
| Vão Secundário ABC 3A02(A04) | 197.413 V | 10.019 % | 149.524 A | 99.023 % | 0.00 kVA |

Figura 2. TR de 75kVA com sobrecarga.

2º método – Segundo Filomena, um TR com problema de nível de tensão é encontrado quando o mesmo sofre variação de tensão, em que a queda tende a se agravar à medida que o consumidor se distancia do barramento do TR.

Para análise de um circuito de BT com problemas de níveis de tensão foram verificados os limites de tensão entregues ao consumidor estipulados pela ANEEL conforme Fig. 3. Sabendo destes limites foram verificados no software GISD os níveis de tensão entregues ao consumidor se os mesmos ficarem abaixo do valor estimado é necessário ser feito melhorias na rede de BT.

| Tensão Nominal (V) | Limites adequados de variação da tensão | |
|---|---|---|
| | Mínimo (V) | Máximo (V) |
| 220/127 | 202/117 | 231/133 |
| 380/220 | 350/202 | 399/231 |
| 230/115 | 212/106 | 242/121 |

Figura 3. Limites de variação de tensão secundária.

3º método - TR fora do centro de carga implica diretamente em queda de tensão nos finais dos circuitos de BT em que um lado pode estar equilibrado e em outro com problemas de níveis de tensão. A Fig. 4, mostra a situação de um TR fora do centro de carga em que em um lado do TR tem-se 15,02 A (amperes) e para outro 107,67 A.

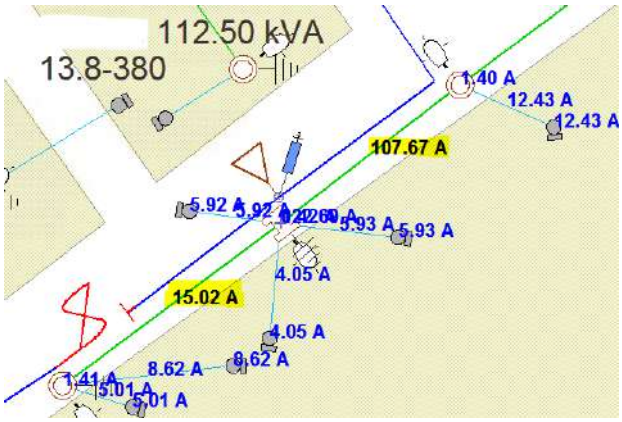



Figura 4. TR fora do centro de carga.

4º método - O desbalanceamento de fases impacta diretamente em sua corrente nominal e pode sobrecarregar uma fase, assim danificando o equipamento. Através dos valores das correntes A, B e C é possível verificar se o circuito encontra-se com desbalanceamento de fases conforme mostra a Fig. 5, em que mostra uma diferença de quase 50% entre as fases A, B e C.

| Dispositivo | Pior Corrente (A) Fase A | Pior Corrente (A) Fase B | Pior Corrente (A) Fase C | Pior Corrente (A) Total |
|---|---|---|---|---|
| Posto Transformador ABC | 122,687 | 113,47 | 59,051 | 122,687 |

Figura 5. Desbalanceamento de fases de um circuito de BT.

5º método - Os problemas de perdas de energia são existentes em toda rede de distribuição e causa prejuízos significativos para as concessionárias em que este valor é perdido tendo-se que gerar mais energia para atender o consumidor final, através do PMD que é a substituição do condutor convencional para isolado, pode-se reduzir estas perdas. Foram utilizadas as equações do módulo 7 do Procedimento de Distribuição (PRODIST) e através destes cálculos foram encontrados os valores de perdas técnicas do medidor, ramal de ligação e condutor do circuito existente e proposto.

Para os três estudos foram analisados todos os conceitos citados acima, afim de verificar o real problema dos circuitos e aplicar a melhor solução.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A escolha do primeiro estudo mostra um exemplo comum encontrado em áreas rurais, em que o problema deste circuito de distribuição de BT não é sobrecarga e sim o alto índice de queda de tensão no condutor devido a distância em que se encontra o consumidor do TR.

Para estes casos a concessionária adotou o conceito de instalar um TR próximo ao consumidor, assim atendendo as exigências do método 2, levando energia de qualidade para o cliente.

O circuito possui 8 consumidores monofásicos em uma rede com extensão de 1,5km. Os níveis de tensão existentes para atendimento ao cliente estão abaixo dos limites informados na Fig. 3.

A Fig. 6 mostra os eventos encontrados nos últimos 3 anos, também os motivos dos mesmos. Os eventos comprovam que a maior incidência neste circuito é o problema na rede de BT, em que se pode ressaltar o problema de vegetação e condutor como os principais fatores de interrupção de energia.

| Eventos Totais | | | Eventos Secundária | | | Eventos Secundária Sobrecarga | | | Eventos Secundária Condutor | | | Eventos Secundaria Vegetal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 |
| 5 | 9 | 4 | 5 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 |

Figura 6. Eventos ocorridos nos últimos 3 anos estudo 1.

Pode-se analisar também que existe uma grande área de vegetação, o que leva ao risco de rompimento dos condutores ou curto circuito no transformador. Esses eventos podem causar danos materiais para o consumidor final e para a concessionária. Nesta análise foi levado em consideração a extensão da rede de baixa tensão e a vegetação que pode ocasionar desligamentos involuntários. A Fig. 7 demonstra como ficaria a rede com a melhoria, retirando a rede de BT e estendendo a rede de media tensão (MT) até o consumidor final e instalando um TR próximo as residências dos consumidores, reduzindo os níveis de tensão e riscos de desligamento por vegetação.

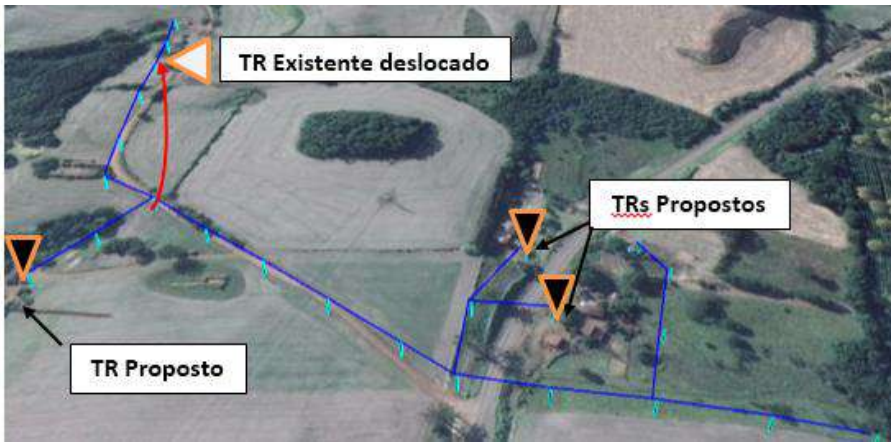



Figura 7. Estudo 1 proposto no software Google Earth.

Após foi utilizado o método 5 para as análises de perdas do circuito existente e proposto. A Fig. 8 mostra os valores obtidos do circuito existente e proposto. Em que: FP – fator de potência estipulado pela ANEEL; CP – coeficiente de perdas estipulado pela ANEEL; ΔT – período em horas que foi obtido os valores do circuito; ΔER – perdas no medidor de energia [kWh]; ΔEBT – perdas no condutor de BT[kWh]; ΔETotal – perdas totais do circuito [kWh].

| Região | FP | CP | ΔT (h) | ΔER (kWh) | ΔEBT (kWh) | ΔETotal (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Existente | 0,92 | 1,52 | 730 | 11,88 | 86,781 | 98,66138 |
| Proposta | 0,92 | 1,52 | 730 | 4,1492 | 0 | 33,19329 |

Figura 8. Perdas de energia do estudo 1 existente e proposto.

Pôde-se verificar que com a instalação de novos TRs para os consumidores teve uma redução significativa nas perdas de energia. Com a retirada dos condutores de BT reduziu as perdas de energia, eventos de interrupção por condutor e vegetação e melhora nos níveis de tensão, assim entregando energia com maior qualidade.

Para o segundo estudo foi analisado um circuito em área urbana em que possui 198 consumidores sendo 150 monofásicos, 38 bifásicos e 10 trifásicos ao longo de aproximadamente 2km de rede de BT. Com os métodos adotados verificou-se que o circuito está em sobrecarga conforme os eventos mostrados na Fig. 9. O mesmo encontra-se com problemas de níveis de tensão devido a extensão do circuito.

| Eventos Totais | | | Eventos Secundária | | | Eventos Secundária Sobrecarga | | | Eventos Secundária Condutor | | | Eventos Secundaria Vegetal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 |
| 10 | 8 | 11 | 10 | 8 | 11 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 5 |

Figura 9. Eventos ocorridos nos últimos 3 anos estudo 2.

Para melhoria do circuito optou-se pela divisão do circuito acrescentando um novo TR, assim dividindo as cargas e melhorando os níveis de tensão. Foram recondutorados os cabos de BT de convencional (nu) para isolados (multiplexados), devido sua corrente nominal ser acima do que o condutor existente suporta. Assim o circuito de BT ficou conforme a Fig. 10.

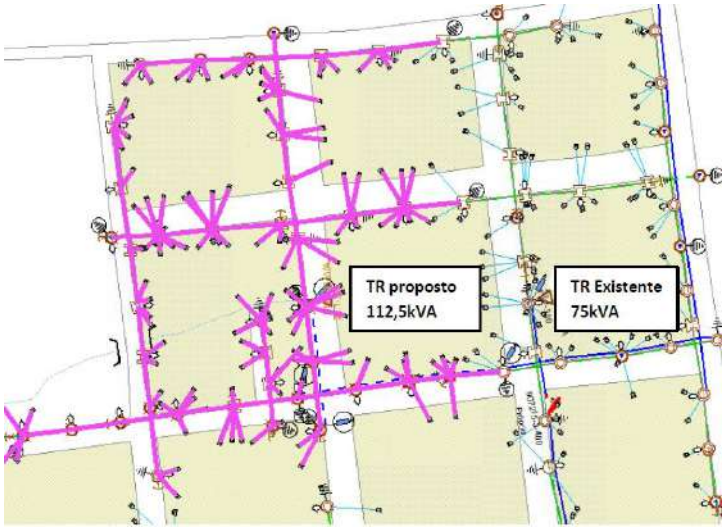



Figura 10. Estudo 2 com divisão do circuito, proposta efetuada no software GISD.

Foram feitos os cálculos de perdas técnicas do método 5, comparando as perdas no circuito existente e no circuito proposto, pode-se perceber uma redução de aproximadamente 50% conforme mostra a Fig. 11.

| Região | FP | CP | ΔT (h) | ΔER (kWh) | ΔEBT (kWh) | ΔETotal (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Existente | 0,92 | 1,52 | 730 | 140,4 | 244,472 | 384,848 |
| Proposta | 0,92 | 1,52 | 730 | 140,4 | 71,0659 | 211,442 |

Figura 11. Perdas de energia do estudo 2 existente e proposto.

O terceiro estudo analisou-se um circuito também em área urbana onde TR encontra-se fora do centro de carga conforme a Fig.4 e com desbalanceamento de fases Fig. 2 mostra a situação em que se encontra as correntes existentes no circuito. O circuito possui 67 consumidores e um dos motivos de desbalanceamento de fases são suas derivações serem bifásicas e monofásicas, fazendo com que a fase C fique com menos carga.

A Fig. 12 mostra os eventos ocorridos neste terceiro estudo, pôde-se analisar que pela quantidade de eventos no condutor secundário o mesmo encontra-se com problemas de emendas devido ao seu tempo de uso, e também foi possível perceber que há vários eventos com vegetação.

| Eventos Totais | | | Eventos Secundária | | | Eventos Secundária Sobrecarga | | | Eventos Secundária Condutor | | | Eventos Secundaria Vegetal | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 | 2017 | 2016 | 2015 |
| 16 | 6 | 13 | 16 | 6 | 13 | 2 | 0 | 1 | 8 | 5 | 7 | 6 | 1 | 5 |

Figura 12. Eventos ocorridos nos últimos 3 anos estudo 3.

Com a correção de balanceamento das fases e deslocando o TR para o centro de carga Fig. 13 pode-se melhorar o circuito equilibrando as correntes que estão saindo dos bornes do TR de um lado saindo 42,89 A e de outro 56,41 A, porém o mesmo possui problemas no condutor e em suas derivações a rede é bifásica e monofásica dificultando o equilíbrio entre as fazes, portanto para o circuito estar operando da melhor maneira possível fez-se necessário à utilização do PMD substituindo o condutor convencional para isolado esta melhoria juntamente com o balanceamento de fases e TR no centro de carga resolveu os problemas do circuito.

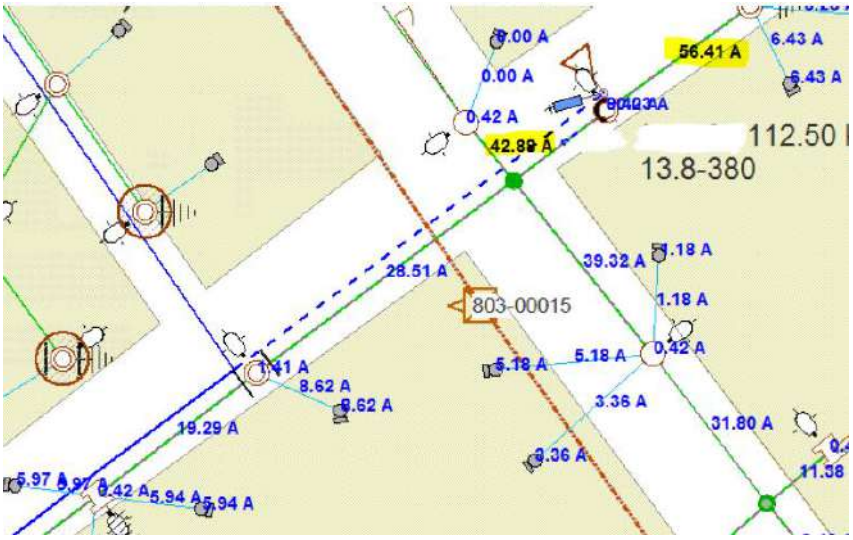



Figura 13. TR deslocado para o centro de carga do estudo 3.

Após foram feitos os cálculos das perdas técnicas comparando o circuito existente com o proposto Fig. 14, e pode-se analisar que como no estudo 2 o estudo 3 também reduz consideravelmente as perdas técnicas, mostrando a importância do PMD em redes de distribuição de BT.

| Regiao | FP | CP | ΔT (h) | ΔER (kWh) | ΔEBT (kWh) | ΔETotal (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Existente | 0,92 | 1,52 | 730 | 36,0284 | 111,31 | 147,338 |
| Proposta | 0,92 | 1,52 | 730 | 36,0284 | 49,58 | 85,6088 |

Figura 14 – Perdas de energia do estudo 3 existente e proposto.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma análise de quanto uma interrupção de energia elétrica pode afetar a segurança, meio ambiente, perda de equipamentos sobrecarregados, queima de equipamentos do consumidor final, entre outros fatores que prejudicam o sistema de distribuição.

Pôde-se analisar que os valores obtidos dos circuitos existentes na rede de BT estavam com graves problemas de sobrecarga, níveis de tensão, desbalanceamento de fases e vários eventos com problemas de vegetação próximo a rede. E com a aplicação do PMD nos estudos propostos houve uma melhora expressiva em comparação com o circuito existente.

O PMD aplicado para os estudos não visou somente à substituição do condutor convencional nu para multiplexado isolado em áreas urbanas, e o acréscimo de um TR para o consumidor final em áreas rurais. O mesmo buscou uma melhoria em todo o circuito de BT como: em níveis de tensão, TR em equilíbrio, balanceamento de fases, TR em centro de carga e perdas técnicas. Atendendo os objetivos levantados no início deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. PRODIST Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição. 2018

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. PRODIST Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição. 2013

ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasilia, 2008.

FILOMENA, Maria. *Gestão da manutenção de transformadores de distribuição visando à qualidade no fornecimento de energia elétrica.* Belém, 2008. Monografia de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará.

OLIVEIRA, Marcelo. *Avaliação de metodologias de cálculo de perdas técnicas em sistemas de distribuição de energia elétrica avaliação de metodologias de cálculo de perdas técnicas em sistemas de distribuição de energia elétrica*. Ilha Solteira, 2009. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VIBRAÇÃO HARMONICA FORÇADA EM UM SECCIONADOR BMKU-40A

**Pedro Vieira Martinelli**
**Márcio Walber**
**Lucas Dalla Maria**
**Charles Leonardo Israel**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
131509@upf.br; mwalber@upf.br; lucasdm@upf.br; israel@upf.br

***Resumo.***
*Atualmente o setor de energia elétrica no Brasil está passando por várias renovações com o objetivo de atender os novos aspectos de investimentos no mercado. Com a diminuição do papel do estado na economia, os riscos e incertezas inerentes a estas novas perspectivas vem sendo atribuídos a empresas privadas, as quais se responsabilizam por eles. Devido a estas responsabilidades agregadas pelas empresas, as mesmas buscam por soluções simples de automações onde consigam minimizar esses problemas diminuindo então custos de manutenção e taxas estabelecidas pela reguladora de energia. As chaves seccionadoras são dispositivos que visam isolar a rede para minimizar os efeitos das interrupções programadas ou não. Esses equipamentos são de grande porte e, devido a isso, o processo de operação dos seccionadores de forma remota tem sido um problema para as empresas que operam dentro do sistema elétrico nacional, necessitando na maioria das vezes a supervisão de um operador local para verificar o desfecho da operação. Um dos problemas que perpetram essa necessidade de um operador no local é o atrito entre os contatos da chave, que pode causar o acoplamento inadequado dos contatos fixos com móvel, podendo esquentar e até fundir os componentes, danificando permanente o equipamento. Diante disso o presente relatório tem como objetivo fazer um estudo sobre as atuais e decorrentes condições de abertura e fechamento do equipamento com a adição de vibração harmônica forçada em sua estrutura, primeiramente realizando um estudo experimental dos métodos para alcançar essas manobras em situações recentes avaliando, principalmente, o atrito em ação, para, posteriormente, fazer uma comparação com a nova condição proposta. Em um segundo momento, o trabalho terá foco em fazer os testes nas novas circunstâncias, adicionando vibração, obtendo resultados e fazendo a análise final de qual seria a melhor frequência de vibração para uma condição de funcionamento eficiente.*

***Palavras Chave:*** *Energia elétrica. Chave seccionadora. Vibração. Frequência harmônica. Acoplamento dos contatos.*

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias têm sido de essencial importância para o crescimento e aumento da produção nas indústrias, e em virtude disso atualmente as empresas não medem esforços para fazer investimentos nesse campo.

No setor elétrico brasileiro e mundial o principal investimento vem sendo na automação de seus serviços, principalmente para aumentar a confiabilidade do sistema e ter uma garantia de fornecimento contínuo de energia, evitando assim interrupções dessa tarefa e atendendo as regras estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Essas melhorias aplicadas estão, em sua maioria, nas subestações onde é feito todo o processo de adequação de energia para a distribuição aos consumidores.

Dentro da grande quantidade de funções exercidas por uma subestação algumas das principais tarefas estão destinadas aos seccionadores, que são equipamentos primordiais para a função de isolar, conectar e criar um caminho alternativo para o fluxo de potência (ROCHA, 2014).

Visto que dentro das subestações um dos maiores problemas era a descontinuidade do fornecimento de energia, essencialmente causado pelo mau fechamento gerado pelo atrito exercido nos contatos elétricos de um seccionador, Rocha (2014) propôs uma automação desta máquina, que consiste no acréscimo de vibração harmônica forçada na estrutura do equipamento desejando então finalizar as questões do fechamento não efetivo de um seccionador. Porém, o acréscimo da vibração harmônica forçada traz inúmeras incertezas sobre a condição da estrutura do seccionador, assim

sendo, o presente trabalho teve como objetivo verificar, através de ensaios experimentais com um motovibrador contendo um par de massas de 1,1 kg e instalado na estrutura do seccionador, a influência de 5 frequências naturais a serem aplicadas no seccionador com os contatos apertados além da pressão máxima estipulada pelo fabricante, a partir de dados de tensão, deformação, aceleração e deslocamento obtidos por sensores instrumentados na chave seccionadora, para que a vibração seja efetiva e não prejudique a integridade do equipamento. Por fim concluiu-se que nenhuma das 5 frequências investigadas ajuda no fechamento, logo deve-se usar uma frequência maior e mais massas excêntricas também.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão apresentadas as etapas necessárias para que o trabalho cumpra com sua proposta. Essas, se iniciam pelo estudo da patente BR 10 2013 020198 7, posicionamento dos transdutores no equipamento e em seguida testes de aquisição das frequências , determinação de frequências naturais, ensaios nas frequências determinadas, aquisições de tensões, deformações e torque dos sensores e por fim, a definição da frequência a qual a estrutura melhor se comporta e ao mesmo tempo permite um melhor acoplamento dos contatos com o alívio de torque no eixo árvore. Essas etapas de desenvolvimento estão ordenadas na Figura 19 e serão posteriormente detalhadas individualmente.




Figura 1. Fluxograma adotado para o trabalho

### 2.1 Patente BR 10 2013 020198 7

A patente BR 10 2013 020198 7 consiste na automação de seccionadores de alta tensão, tendo como foco utilização de uma moto-vibração controlada para aliviar a força de atrito existente entre contato fixo e contato móvel, além de acompanhar, através de um raio laser, o correto fechamento dos contatos (Figura 13). Essa patente será utilizada para os testes na chave de modelo BMKU-40A feitos, juntamente com esta pesquisa, pelo programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) criado pela Universidade de Passo Fundo em parceria com a CEEE, já que os testes feitos na dissertação de Rocha (2014) foram realizados em um seccionador do tipo dupla abertura e o projeto de P&D pretende analisar a aplicação desta patente em outros modelos de chave.

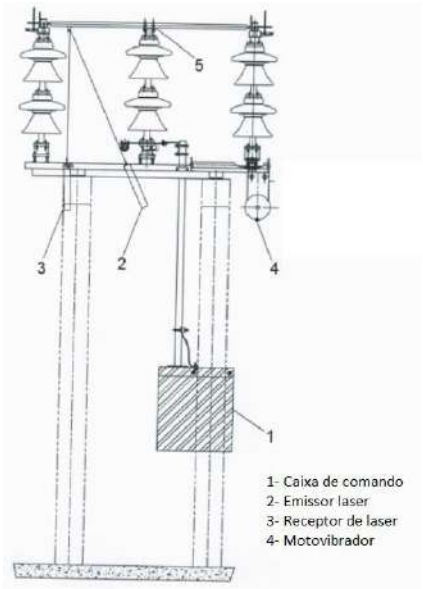



Figura 1. Patente BR 10 2013 020198 7

### 2.2 Sensores e seus posicionamentos

Para a obtenção dos valores de tensão mecânica e deformação mecânica exercidos na estrutura durante as condições propostas serão adicionados extensômetros uniaxiais. A Figura 14 demonstra a posição dos transdutores instalados, sendo: extremidade inferior da haste (1), meio da haste (2) e extremidade superior da haste (3).

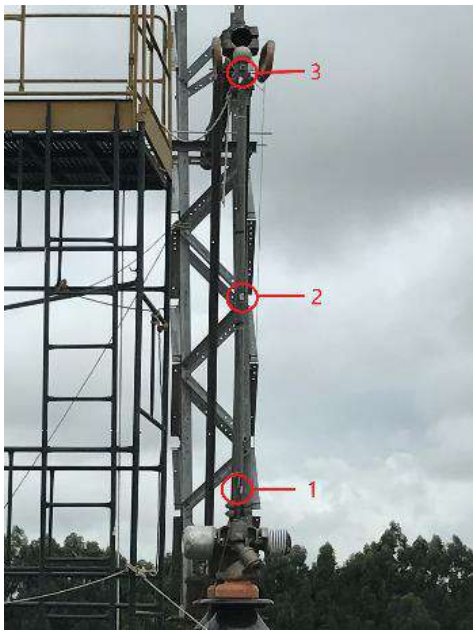



Figura 3. Posicionamento de sensores

A posição dos *strain gages* foi decidida a partir de testes preliminares feitos pelos integrantes do grupo do Laboratório de Inovação Tecnológica (LINTEC), que notaram que as regiões de aplicação dos *strain gages* seriam onde existiram as maiores deformações a serem analisadas. Esse equipamento possibilitará analisar as frequências de naturais de vibração e o perfil de aceleração durante o processo de manobra do seccionador.

O valor do torque no motor será obtido a partir de um *strain gage* a 45° posicionado no eixo árvore, logo acima da caixa de comando (Figura 15 A).

A aquisição dos parâmetros de vibração será feita por 3 acelerômetros uniaxiais do tipo *Silicon Designs* 2210 posicionado logo abaixo da extremidade superior da haste (Figura 15 B).



(A) (B)

Figura 4. Posicionamento Strain Gage 45° e acelerômetros

### 2.3 Aquisição do sinal

O sinal dos sensores é obtido pelo sistema de aquisição Lynx em que se obtém o sinal medido em amplitude no tempo e é aplicado um filtro passa baixas, que por sua vez limita as frequências de obtenção de sinal até o valor de 50 Hz, pois a frequência da rede é de 60Hz, para que os ruídos sejam eliminados e a visualização do sinal seja mais clara, como demonstrado na Figura 16 em que o sinal da parte superior é o sinal bruto e o da parte inferior é o sinal já filtrado.

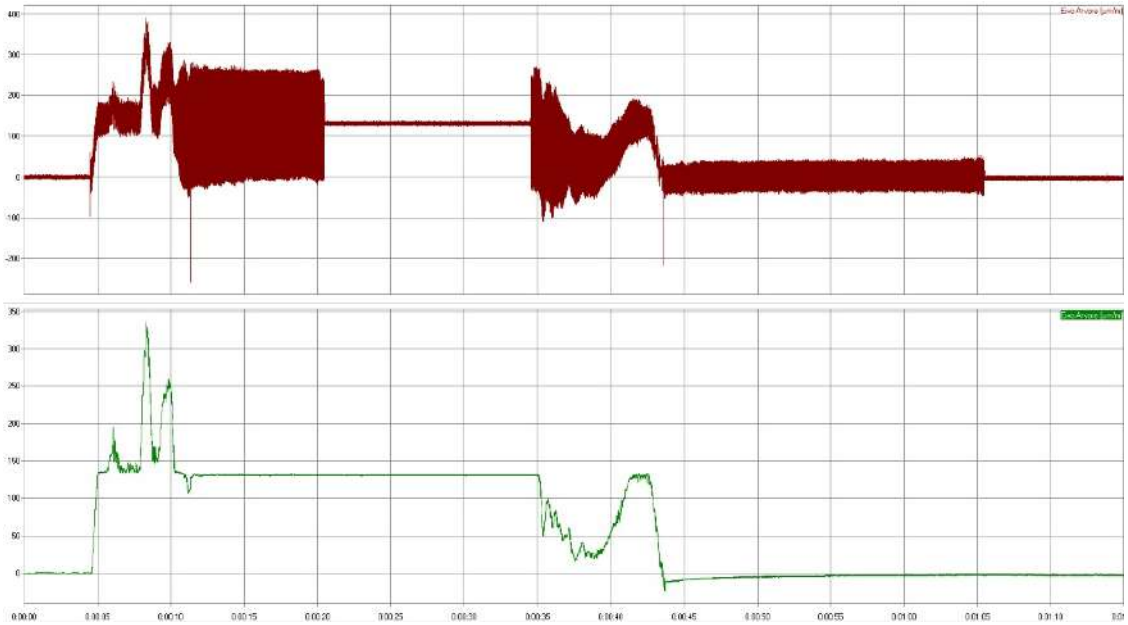


Figura 5. Gráfico sinal bruto e sinal filtrado

### 2.4 Processamento do sinal

O processamento dos sinais se dá a partir do software Matlab, onde os sinais obtidos no sistema de aquisição Lynx são exportados para o Matlab e feita a FFT com base no código do Anexo 2 para a obtenção do sinal gráfico em amplitude por frequência. A Figura 17 representa o ciclo completo de abertura e fechamento da chave, onde: a região entre pontos vermelhos demonstra a manobra de abertura até seu amortecimento, a região entre pontos amarelos é a haste do seccionador já aberta e completamente amortecida, e entre os pontos verdes é onde se encontra a manobra de fechamento da haste em que nota-se um pico de amplitude o qual representa o impacto da haste nos contatos.

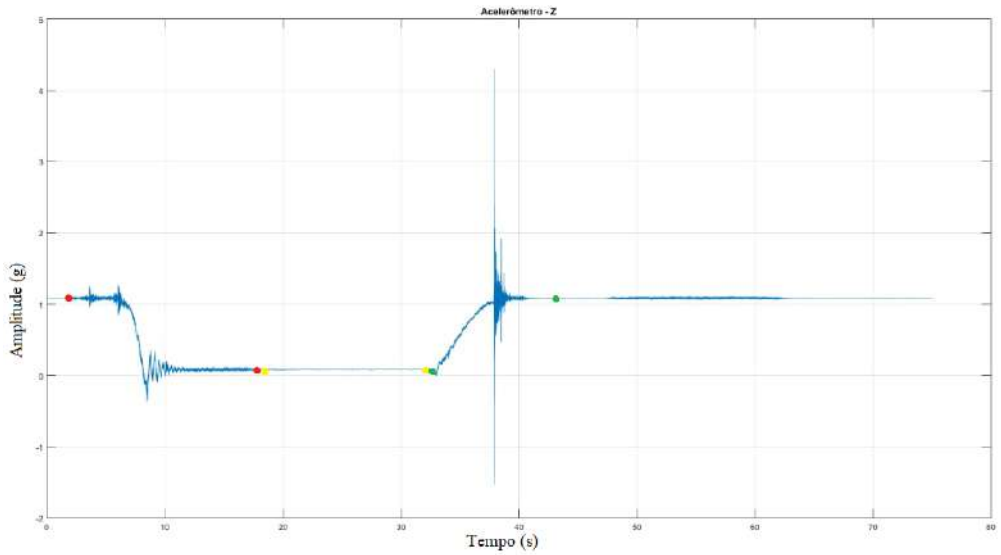



Figura 6. Gráfico amplitude/frequência

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Concluídas as etapas de definições, testes e análises, serão primeiramente avaliados os dados obtidos com o auxílio do software Matlab. Posteriormente será feita a comparação dos dados obtidos entre as frequências e então a decisão da que melhor satisfaz as condições da estrutura e conclusão de manobra.

### 3.1 Análise das frequências naturais da estrutura

As análises para a seleção das frequências naturais realizaram-se em um gráfico logarítmico, onde proporciona uma melhor visão das frequências decompostas. A Figura 22 demonstra as decomposições de todas as frequências naturais durante a vibração forçada com o seccionador fechado, na qual nota-se que existem frequências de 1,4Hz a 35Hz, sendo que para o acelerômetro em x e para o acelerômetro em y as frequências que aparecem em ambos os gráficos são as de: 1,4Hz, 2,5Hz, 21,8Hz, 22,5Hz, 36,4Hz e 43,7Hz. Já as frequências presentes em todos acelerômetros são as de 36,4Hz e 43,7Hz.

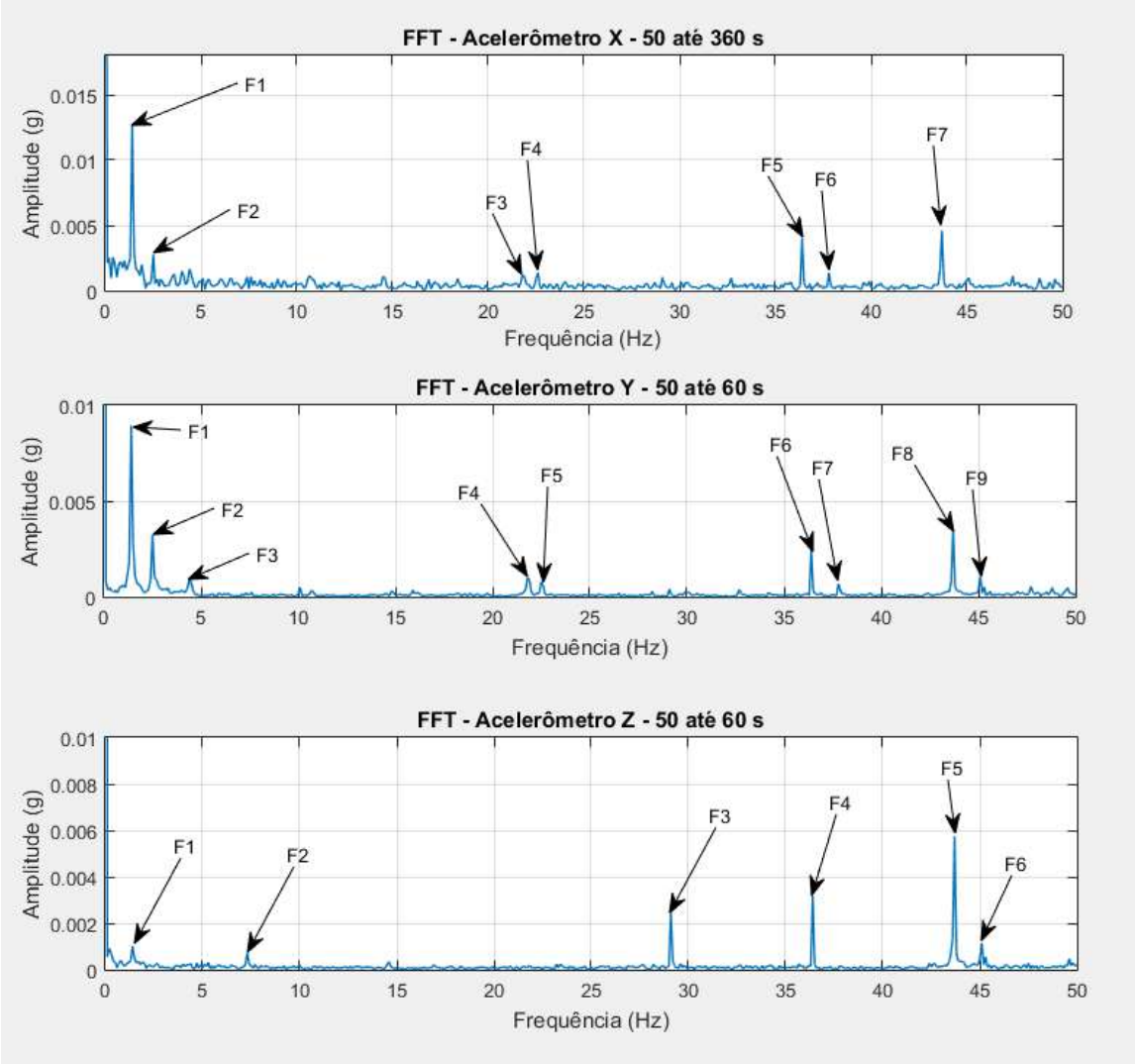



Figura 7. Frequências naturais *plot* de acelerômetros

Devido a limitações dos equipamentos utilizados para o experimento a faixa de frequências a serem selecionadas teve de ser de 5Hz a 20Hz. Devido a isso usou-se um gráfico Log/Log (Figura 23), evidenciando assim as frequências utilizadas para as baterias de testes, que são respectivamente: 9,2Hz, 10,3Hz, 12,7Hz, 14,7Hz e 15,9Hz.

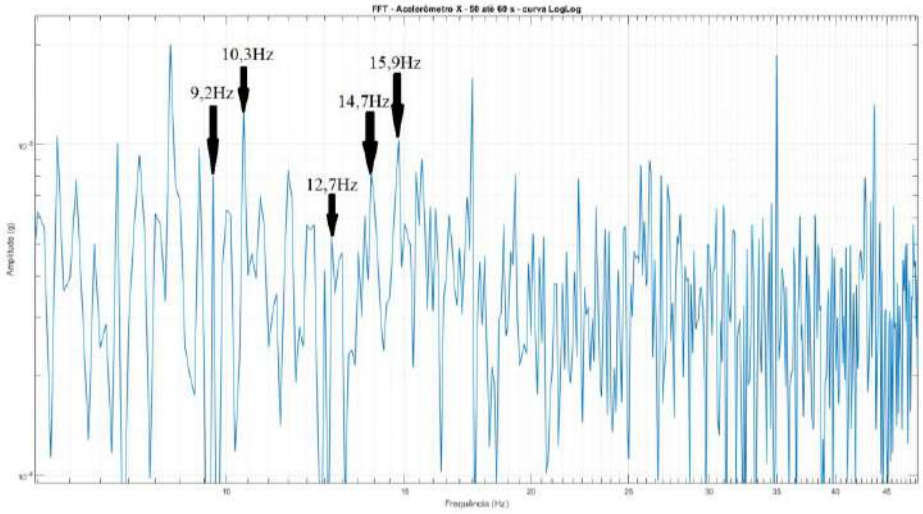



Figura 8. Sinal em escala logarítmica

### 3.2 Testes nas frequências selecionadas

Para a determinação dos dados de torque no eixo árvore, tensões e deslocamento da haste realizaram-se uma bateria de 5 testes para cada uma das 5 frequências selecionadas e posteriormente foi feita uma média dos valores obtidos.

#### 3.2.1 Tensões

O processamento dos sinais dos strain gages dispostos na haste do seccionador resultaram nos valores de tensões de compressão e tração nos pontos onde se localizam os sensores, que correspondem a: extremidade inferior da haste, meio da haste e extremidade superior da haste (Tabela 1).

Tabela 1. Trações médias dos *Strain Gages.*

| 9,2Hz | EXTREMIDADE INFERIOR DA HASTE | MEIO DA HASTE | EXTREMIDADE SUPERIOR DA HASTE |
|---|---|---|---|
| σ Tração média (Mpa) | 9,3143±0,8 | 10,8626±1,0 | 1,2465±1,0 |
| σComp média (Mpa) | -44,0165±3,0 | -12,5078±1,3 | -19,9913±1,4 |
| **10,3Hz** | | | |
| σ Tração média (Mpa) | 10,8792±0,9 | 10,7771±0,4 | 2,0401±1,6 |
| σComp média (Mpa) | -39,3549±4,4 | -10,6432±2,0 | -18,4730±1,0 |
| **12,7Hz** | | | |
| σ Tração médias (Mpa) | 10,9803±0,8 | 10,8404±0,9 | 1,3553±1,4 |
| σComp médias (Mpa) | -34,2614±4,3 | -8,5337±1,3 | -18,3652±1,0 |
| **14,7Hz** | | | |
| σ Tração médias (Mpa) | 10,2956±1,0 | 10,1743±2,8 | 0,9708±1,6 |
| σComp médias (Mpa) | -34,9517±2,0 | -9,6809±3,1 | -18,6411±1,3 |
| **15,9Hz** | | | |
| σ Tração médias (Mpa) | 11,1961±1,8 | 11,3689±0,4 | 1,3763±0,9 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **σComp médias (Mpa)** | -31,5511±1,5 | -8,4636±0,5 | -16,6853±1,1 |
| **Vibração livre** | | | |
| **σ Tração médias (Mpa)** | 9,9496±0,5 | 10,3392±0,3 | 0,9597±0,3 |
| **σComp médias (Mpa)** | -31,1004±0,8 | -7,9580±0,7 | -17,3721±0,5 |

Diante das informações coletadas sobre as tensões exercidas verifica-se que nenhuma tensão excede o limite de tração de 200Mpa do cobre conforme Callister (2002), pois o equipamento mantém a integridade. Também se verifica que para as tensões de tração na base da haste as frequências de excitação são estatisticamente iguais, já para a tensão de compressão da base da haste a frequência onde há a maior tensão de compressão é a de 9,2Hz.

Para o meio da haste as tensões de tração para todas as frequências são equivalentes estatisticamente com exceção da vibração livre, e para as tensões de compressão também há a igualdade estatística para as frequências de 9,2Hz, 10,3Hz e 14,7Hz.

As tensões de compressão e tração para a ponta da haste, comumente possuem valores estatisticamente iguais para todas as frequências e a vibração livre.

### 3.2.2 Torque e deslocamento

Com os resultados e cálculos das médias dos dados colhidos do processamento dos sinais dos strain gages e acelerômetros notou-se que os valores de torque no eixo árvore haste são muito próximos, o que impede de apontar uma frequência adequada para esses quesitos. Para resolver este problema foi feito um desvio padrão para os valores adquiridos em cada teste para cada frequência (Tabela 2).

Tabela 2. Torque no eixo árvore.

| Torque (Nm) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Teste** | **9,2Hz** | **10,3Hz** | **12,7Hz** | **14,7Hz** | **15,9Hz** | **Vibração livre** |
| **1** | 365,3345 | 360,4207 | 359,0684 | 339,1434 | 333,1355 | 344,2996 |
| **2** | 375,8444 | 384,3661 | 359,3921 | 374,0978 | 342,6626 | 358,7208 |
| **3** | 361,8423 | 372,2609 | 346,9019 | 352,5250 | 355,2680 | 357,6080 |
| **4** | 389,8865 | 378,6888 | 360,3734 | 355,9961 | 356,3892 | 351,6224 |
| **5** | 363,7218 | 366,6427 | 362,3412 | 335,9941 | 354,6625 | 354,8083 |
| **MÉDIA** | 371,3 | 372,5 | 357,6 | 351,6 | 348,4 | 353,4 |
| **Desvio padrão** | 11,7 | 9,5 | 6,1 | 15,2 | 10,2 | 5,8 |

Com o desvio padrão do torque percebe-se que as excitações de 9,2Hz e 10,3Hz são estatisticamente iguais entre si, bem como as frequências de 12,7Hz, 14,7Hz, 15,9Hz e a vibração livre, que também são estatisticamente iguais entre si, visto que a vibração livre possui um valor médio de 353,4±5,8 Nm.

Para o deslocamento os dados obtidos, para as frequências analisadas com um par de massas excêntricas, foram valores insignificantes (Tabela 3), porém foi notado que os valores crescem seguindo o padrão das frequências, quanto maior a frequência maior o deslocamento.

Tabela 3. Deslocamentos.

| Deslocamento (mm) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Teste** | **9,2Hz** | **10,2Hz** | **12,7Hz** | **14,7Hz** | **15,9Hz** | **Vibração livre** |
| **10001** | 2,0828E-03 | 2,5221E-03 | 2,9786E-03 | 2,6531E-03 | 3,2152E-03 | 1,8083E-03 |
| **10002** | 2,5506E-03 | 2,9285E-03 | 2,8170E-03 | 2,6372E-03 | 2,8768E-03 | 1,7127E-03 |
| **10003** | 2,0046E-03 | 3,3332E-03 | 2,7374E-03 | 2,4383E-03 | 3,1596E-03 | 2,0185E-03 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **10004** | 2,3011E-03 | 2,7332E-03 | 2,7925E-03 | 2,9937E-03 | 3,1021E-03 | 1,8953E-03 |
| **10005** | 2,4487E-03 | 2,4864E-03 | 2,7166E-03 | 4,1304E-03 | 3,2791E-03 | 1,7993E-03 |
| **MÉDIAS** | 2,2776E-03 | 2,8007E-03 | 2,8084E-03 | 2,9705E-03 | 3,1266E-03 | 1,8468E-03 |

Para melhor visão do comportamento da vibração na chave seccionadora, a Tabela 4 mostra os valores de torque e deslocamento juntos, podendo assim observar que os comportamentos são diferentes, porém são complementares. No deslocamento quanto maior a frequência mais ele aumenta, já no torque frequências altas demonstraram-se com comportamentos iguais ao teste com vibração livre e juntos demonstram que com deslocamentos significativos possuem alívios de torque baixo.

Tabela 4. Torque e deslocamento para cada frequência.

| Frequências | Torque (Nm) | Deslocamento (mm) |
|---|---|---|
| **9.2Hz** | 371,3259 | 2,28E-03 |
| **10.3Hz** | 372,47584 | 2,80E-03 |
| **12.7Hz** | 357,6154 | 2,81E-03 |
| **14.7Hz** | 351,55128 | 2,97E-03 |
| **15.9Hz** | 348,42356 | 3,13E-03 |
| **Vibração livre** | 353,41182 | 1,85E-03 |

## 4. CONCLUSÕES

Segundo o estudo bibliográfico, entendeu-se que a adição desse parâmetro já citado proporciona uma melhor manobra de abertura e fechamento. Porém, foi também observado que esta é uma conclusão apenas teórica e, quando exercida na prática, fatores como o aperto dos contatos tem grande influência para os dados adquiridos.

Para os testes e análises feitas os contatos estavam apertados ao seu máximo, o que resultou em dados fora do esperado para a questão de alívio de torque. Conclui-se então que para o caso analisado, frequências baixas como a de 9,2 Hz, 10,3Hz e 12,7Hz acabam tendo maiores valores de torque no eixo árvore do seccionador que quando há a vibração livre. Já as frequências de 14,7Hz e 15,9Hz são um pouco mais efetivas que as demais. Quanto as tensões na haste, excitada nas ultimas frequências citadas, demonstram um comportamento similar as demais frequências, diferindo assim do deslocamento na ponta da haste que, mesmo que pouco, aumenta gradualmente com o aumento de frequência excitada. Isso direciona a análise de efetividade das frequências para os torques no eixo árvore, onde estes valores demostram um alívio de 1,4% exclusivamente para as frequências de 14,7Hz e 15,9Hz. Porém como o alívio de torque se demonstrou muito baixo a execução do desvio padrão se provou fundamental para o estudo, em que notou-se que entre vibrar a estrutura a 14,7Hz, 15,9Hz ou permanecer em vibração livre, estatisticamente tem-se valores iguais.

Por fim conclui-se que, para o caso estudado, vibração livre é o melhor caminho a se seguir, pois estatisticamente possui os mesmos valores que as melhores frequências e evita possíveis danos a estrutura, que a vibração poderia causar a longo prazo. Então, para estudos futuros sugere-se aumentar a frequência de excitação, as massas excêntricas no motovibrador e manter o aperto dos contatos definido pelo fabricante.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6935. Seccionador, Chaves de Terra e Aterramento Rápido. ABNT: Janeiro, 1985.

ABNT NBR IEC 60694. Especificações Comuns para Normas de Equipamentos de Manobra de Alta-Tensão e Mecanismos de Comando. ABNT: Abril, 2006.

ABNT NBR IEC 62271-102. Equipamentos de Alta-Tensão Parte 102: Seccionadores e Chaves de Aterramento. ABNT: Abril, 2006.

ALMEIDA, P. de. Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada. 06/2015.

BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R.; CORNWELL, P. J. Mecânica Vetorial para Engenheiros. AMGH, 01/2012.

BIANSINI, R. B. Ensaios em conectores do tipo perfurante. 2014. 71 p. Projeto de diplomação (Graduação em engenharia elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BOLOTTA, J. M. F. Estudo e análise dos sistemas de proteção em subestações automatizadas de energia elétrica . 2011. 57 p. Trabalho de graduação (Graduação em Engenharia Mecânica)- Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

CALLISTER JR., W. D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002

CEEE-D-ETD-00.006. Especificação de distribuição: Chava faca unipolar. CEEE: Junho, 1986.

CENDRON, V. A. Estudo de caso do programa de P&D: Sistema auxiliar para chaves seccionadoras de alta tensão. 2018. 50f. Relatório de estágio profissional (Estágio Profissional) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

FRONTIN, S. O. (Org.) Equipamentos de alta tensão: prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas. Brasília: Goya Editora LTDA, 2013. 940 p.

HECK, Nestor Cezar. Introdução à engenharia metalúrgica. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

MARU, M. M. Estudo do desgaste e atrito de um par metálico sob deslizamento lubrificado. 2003. 248 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ROCHA, L. F. da. Dispositivo de automação de seccionador de alta tensão. FQ001. 08 de ago. de 2013. Passo Fundo, n. BR 10 2013 020198 7. 15 p.

ROCHA, L. F. da. Implementação de um sistema para manobras de seccionadores de alta tensão visando seu processo de automação. 2014. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2014.

SOUZA, A. F. de. Sistema para monitoração da operação de chaves seccionadoras de alta tensão baseado na análise das correntes do motor de acionamento . 2002. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Elétrica:

# Sistemas Eletroeletrônicos Aplicados

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DE UM CONVERSOR CC-CC BOOST-FLYBACK PARA SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA COM MPPT

**Gilberto Silvino Ramos Christ**
URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus II, RS 331, s/n - Demolinder - Erechim, RS
045474@aluno.uricer.con.br

**Adilson Luís Stankiewicz**
URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus II, RS 331, s/n - Demolinder - Erechim, RS
adilsonluis@uricer.con.br

***Resumo:*** *Este trabalho tem como proposta a implementação de um conversor Boost-Flyback integrado a um painel fotovoltaico para obter o ponto de máxima potência (MPP) e um elevado ganho de tensão até o barramento CC. Para o desenvolvimento da topologia do conversor Boost-Flyback, houve um estudo teórico dos conversores não isolados e isolados, onde foi analisando suas principais características de funcionamento. Para conseguir que o conversor Boost-Flyback possa operar no ponto (MPP) se desenvolve o estudo de algumas técnicas de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT). Após os estudos a topologia ser desenvolvida é um conversor Boost-Flyback em série e o algoritmo de MPPT escolhido é o método perturba e observa (P&O). O desenvolve o projeto do conversor Boost-Flyback, vai ser demostrado primeiramente os conceitos de funcionamento do painel fotovoltaico e suas curvas características. E em seguida se desenvolver os cálculos dos componentes serem utilizados no projeto do conversor. Os resultados deste trabalho são apresentados através de simulação no software "Psim", com objetivo de demostrar graficamente o comportamento do conversor Boost-Flyback e vai ser comparado os valores de corrente, tensão entre os cálculos e a simulações. E por fim uma breve conclusão sobre os resultados alcançados do conversor proposto***.***

***Palavras chave:*** *Conversor Boost-Flyback, Painel fotovoltaico, MPPT, Psim, Perturba e observa.*

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema energético mundial está próximo de uma transformação histórica, uma série de tendências indicam essa transformação. Com a tendência do aumento da demanda de eletricidade mundial e pelo desenvolvimento da tecnologia de transportes inovadores e o aumento do nível de vida (IEA, 2016). O que mais impulsionado essa transformação, e que as fontes de energia convencionais como o carvão, o petróleo, o gás natural e o urânio vem de fontes de energia com reservas finitas. E essas fontes de energia são responsáveis por um terço da emissão de gás de efeito estufa. Mas a uma oportunidade de fazer as mudanças no setor de energético mundial que é de ter uma energia mais limpa. Com um desenvolvimento nas energias renováveis a energia eólica, solar, hidroelétrica, entre outras que resultaria em uma baixa emissão de gás carbono. (IEA, 2017). Mostrando que o mundo deve mudar para atingir metas determinadas pelas novas políticas da IEA que são a diminuição de emissão $CO_2$, acesso universal a energia limpa e melhorar a qualidade do ar para diminuir a doenças provocadas pela poluição. (IEA, 2018).

A energia renovável está no centro da transição para um sistema de energia mais limpa e com menos poluição e mais sustentável. O próximo passo é desenvolver essa tecnologia para que a energia renovável tenha sucesso e a questão da integração do sistema ao mercado, torna-se uma prioridade fundamental a política de energia renovável. Para o desenvolvimento dessa tecnologia se torna importante ressaltar que para implementação do sistema exigira novas estratégias, como objetivo de maximizar o sistema, novas estratégias operacionais aprimoradas em usinas de energia e grandes investimentos em recursos de demanda, armazenamento de energia, infraestrutura de redes e geração flexível. (IEA, 2017). Dentro dessas perspectivas somado os efeitos ambientais, a vários trabalhos de viabilidade técnica e econômica da introdução de fontes renováveis. Muitos países estão pleno desenvolvimento na diversificação de sua matriz energética principalmente na Europa. (REN21, 2017). Devido suas caraterísticas as fontes renováveis estão sendo empregadas em redes de distribuição com potencias menores do que 30MW, seguindo o conceito de geração distribuída (Dreher, 2012). A geração distribuída é definida como a produção de energia localizada próximo unidade consumidora, independentemente do tipo de energia utilizada, com isso este tipo de geração e desvinculada da necessidade de novas linhas de transmissão.

Dentre as fontes renováveis a tecnologia fotovoltaica pode ser instalada em qualquer lugar onde existe irradiação solar, o que primordial para um sistema elétrico baseado em fontes distribuídas aplicadas em grandes centros urbanos. A energia solar é o recurso mais abundante da terra, atualmente menos que 1% da energia é utilizada. A energia solar para produção de energia elétrica só começou a ser utilizada em meados do século passado, após a crise do petróleo na década de 70, em seguida começaram a serem instalada em locais remotos utilizando-se com conjuntos de bateria, nos fins dos anos 90 alguns países lançaram programas de geração fotovoltaica associada a rede e sistema de tarifas na geração distribuída e a partir de 2020 deve se concentrar em geração centralizada em grandes usinas fotovoltaicas (Tomalsquim, 2013).

Para se tornar possível a utilização da tecnologia fotovoltaica temos que desenvolver novas tecnologias em conversores, sistemas de controle e inversores com o objetivo de maximizar o máximo o sistema, pois, a um alto custo no investimento na aquisição dessa tecnologia. Existem dois tipos de tecnologias em energia fotovoltaica a Grid — Tie é a Off — Grid, mas na utilização destes sistemas na energia fotovoltaica são utilizadas tecnologias diferentes. O sistema Grid — Tie é um sistema que é interligado à rede elétrica através de um relógio bidirecional, o sistema funciona da seguinte maneira a tensão do painel é contínua e de baixo nível, para poder elevar essa tensão é necessário um conversor CC-CA, e para adequar a forma de onda e frequência. Já o sistema off — grid é um sistema isolado, necessita de banco de bateria para manter o sistema durante a noite, também utiliza conversores CC-CA se as cargas forem CA para adequar a formas ondas e frequência, e faz parte do sistema um controlador de carga.

Desta forma, este artigo tem como objetivo principal o estudo, simulação e projeto um conversor integrado de elevado ganho estático de tensão, que consiga extrair do painel solar a sua potência máxima, o sistema consiste um conversor CC-CC Boost — Flyback integrados, onde o conversor aplica-se técnica conhecida como Rastreamento de Máxima Potência (MPPT — do inglês Maximizam Power Point Tracking) em busca da maior eficiência do sistema de conversão. Na Fig. 1 demonstra o diagrama de blocos proposto do projeto.

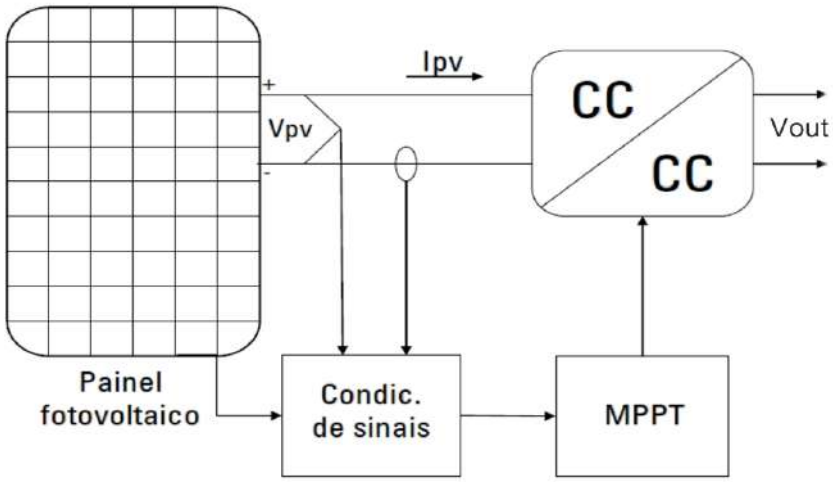



Figura 1. Esquemático geral do sistema proposto

## 2. METODOLOGIA

Na metodologia do artigo, vai descrito a técnica de rastreamento de máxima potência, por causa do alto custo de implementação de um sistema de geração fotovoltaica, temos que otimizar ao máximo o sistema para assim poder tirar o máximo de potência do painel fotovoltaico. E o desenvolvimento da topologia do conversor Boost - Flyback, que para obter um conversor de alto ganho de tensão, integra se um conversor não isolado, neste caso o conversor Boost, com um conversor isolado, que é o conversor Flyback e partir disso se desenvolve a topologia do conversor Boost -Flyback.

### 2.1 Técnicas de Rastreamento de Máxima Potência

O sistema fotovoltaico depende de algumas condições para operar, o sistema está sujeito a variação de temperatura e da irradiação solar. Para podermos controlara o sistema e extrair ao máximo de potência teremos que utilizar um sistema rastreamento de máxima potência. Este sistema é composto por um algoritmo que recebe a informação do sistema e uma etapa de potência que atua sobre o controle deste algoritmo de MPPT (Maximum Power Point Tracking) e encarrega-se de solicitar os valores de tensão e corrente desejada. (Stankiewicz, 2013).

A vários métodos MPPT entre eles estão o perturba e observa (P&O), condutância incremental (IC), correlação ripple (RCC) e redes neurais (RA) entre outras. Mas como o método escolhido para o projeto do conversor Boost-Flyback é o perturba e observa (P&O), vai ser apresentado as principais caraterísticas, vantagens e desvantagem deste método.

O algoritmo perturba e observa é um dos mais utilizados comercialmente, pois, é um sistema de MPPT fácil implementação. Para analisar o funcionamento do método temos a Fig. 2 que demonstra uma curva P-V de um painel fotovoltaico em condições climáticas favoráveis. Se o painel está funcionando no ponto A, isso indica que ponto está distante do ponto de máxima potência (MPP). O algoritmo do (P&O) vai perturbar tensão com um pequeno incremento que resultara na alteração da potência, se a variação da potência (ΔP) for positiva indica que o ponto de operação foi alterado para um lugar mais próximo do MPP e se o valor de ΔP for negativo significa que o ponto A está se afastando do ponto MPP. Com a variações consecutivas do ponto farão atingir o MPP. (Stankiewicz, 2013).

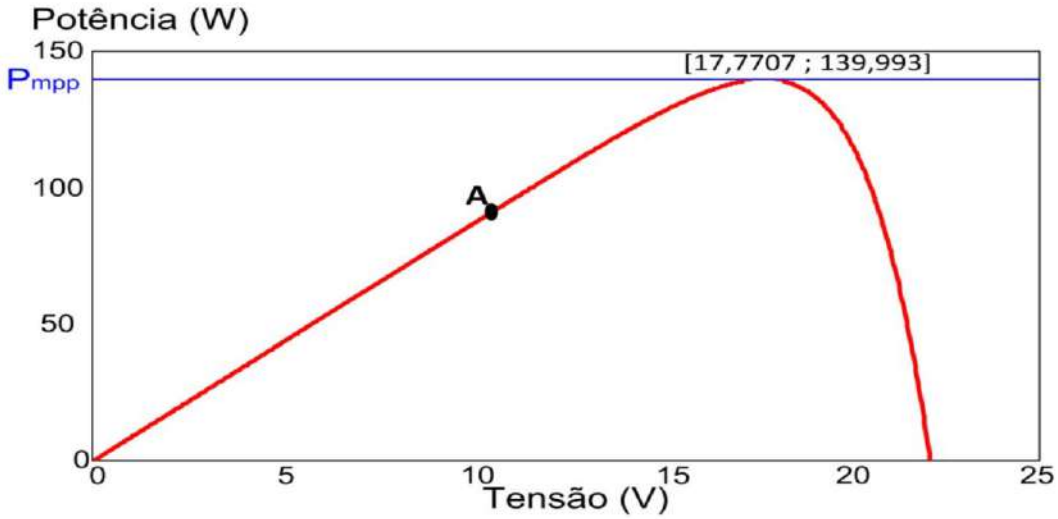



Figura 2. Curva P-V Com indicação de operação fora do MPP

Por mais simples que seja a implementação deste método, ele apresenta algumas desvantagens que reduz a sua eficiência. Uma das dessas desvantagens seria uma resposta mais lenta com alterações condições climáticas, se houver uma diminuição de incidência luminosa isso provoca um achatamento da curva P-V dificultando a localização do ponto de MPP. (Stankiewicz, 2013). Outra desvantagem seria a perda de potência da perturbação em cada ciclo de trabalho quando o ponto se afasta do ponto de MPP. Essa perca é necessária, pois, é o tempo de resposta do algoritmo para determinar se o ciclo de trabalho precisa aumentar ou diminuir, para poder encontra o ponto mais próximo do MPP.

### 2.2 Desenvolvimento do Topologia do Conversor Boost-Flyback

Para obter um conversor de alto ganho de tensão, integra se um conversor não isolado, neste caso o conversor Boost, com um conversor isolado, que é o conversor Flyback. Neste caso os conversores são divididos em seções, as seções de entradas destes conversores são idênticas e sendo assim podendo ser integradas e a seção de saída vai ser associada entre os dois conversores.

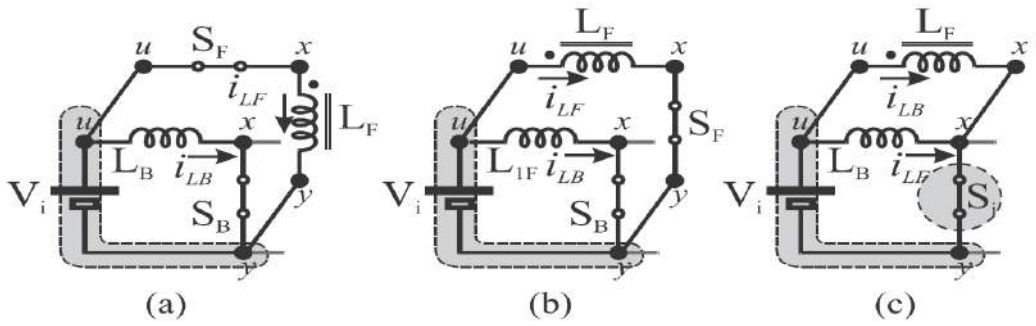



Figura 3. Integração das seções de entrada. (a) Ramo comum compartilhado. (b) Ramo da chave e do indutor do flyback é reorganizado. (c) Chaves em paralelo são integradas.

Os dois conversores apresentam nesta seção um circuito elétrico idêntico, formado por uma fonte de corrente com uma chave ativa. Isso possibilita a integração através de suas seções de entrada diretamente. Associasse o bloco de entrada em paralelo, que é mais adequado para aplicação em baixa tensão, isso posemos ver na Fig. 3 (a).

Determina se que ambas as fontes (Vi) dos dois conversores tem a mesmo valor, isso permite substituí-la por uma única fonte como podemos analisar na Fig. 3 (a). Também é possível alterar a posição dos indutores LF e da chave (SF) do conversor Flyback sem modificar o funcionamento que é visto na Fig. 3 (b). Como os indutores LB e LF dos conversores compartilham o mesmo nível de tensão, conecta se ao nó "x" e substitui as chaves por apenas uma chave (Si) conforme a Fig. 3 (c).

O terceiro e último passo é interação dos indutores (LB) e (LF) como podemos analisar na Fig. 3 (c) os indutores estão em paralelo eles podem ser substituído por apenas um indutor, pois, os dois indutores apresentam a mesma forma onda de corrente nos indutores (LB) e (LF) que é visto na Fig. 4 (a) e Fig. 4 (b) respetivamente. (Dreher, 2012).

Podemos concluir com analise as formas de ondas são equivalentes se observarmos nas Fig. 31 (a) e Fig. 31 (b) e comparando-as com a Fig. 31 (c) do conversor integrado. Observa-se que a corrente no indutor equivalente é a soma das correntes dos indutores Boost e Flyback. As correntes das seções de saída Boost e Flyback permanecem as mesmas.

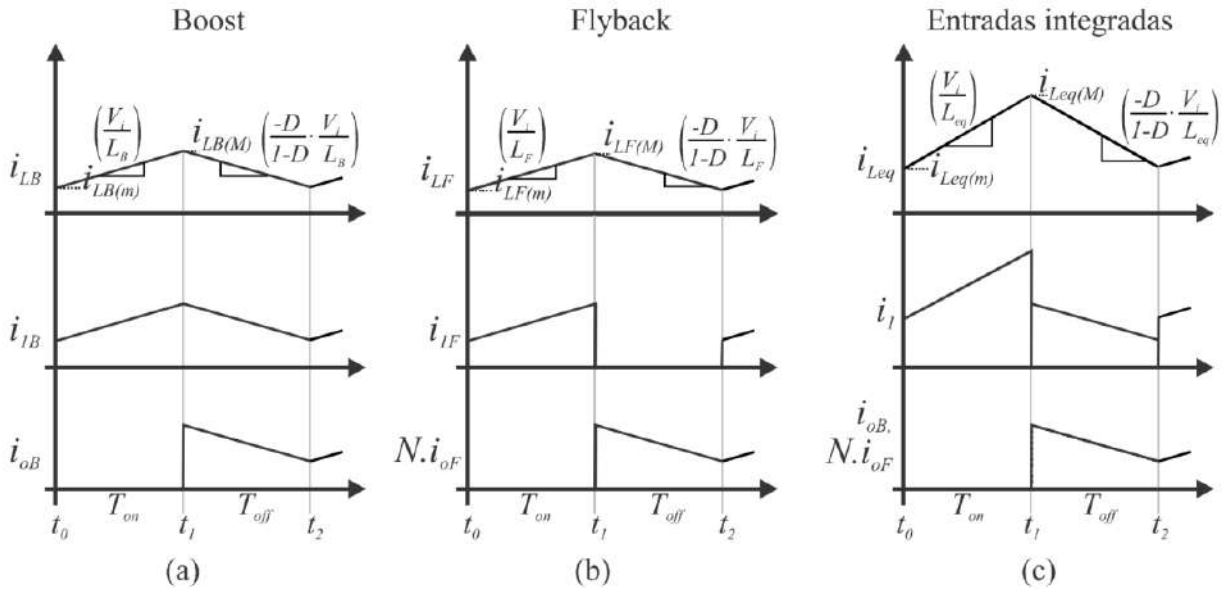



Figura 4. Principais formas de onda de corrente: (a) no conversor Boost, (b) no conversor Flyback e (c) conversor integrados.

A associação da saída pode ter três tipos de associação em série, em paralelo e em cascata. A associação em série é uma das possibilidades de para obter alto ganho de tensão. A associação das seções de saída, e somente é possível se a corrente passar em todos os elementos de saída, for a mesma. Esta associação e possível com a união dos dois capacitores (CoB) e (CoF) como mostra a Fig. 5. (Dreher, 2012).

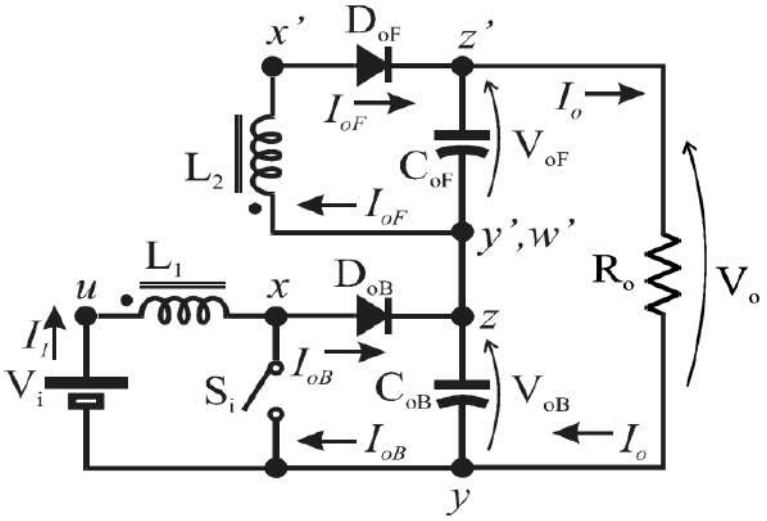



Figura 5. Associação série das portas de saídas

## 2.2 Desenvolvimento do Topologia do Conversor Boost-Flyback

Para funcionamento do conversor Boost-Flyback em modo de condução continua são divididos em quatro etapas. As etapas dos seguintes intervalos de condução (t0 - t1), (t1 - t2), (t2 - t3) e (t3 - t0). Figura 6 podemos analisar das formas de ondas dos períodos de chaveamentos.

Etapa (t0 - t1): no intervalo t0 a chave (Si), é acionada, neste instante a corrente de magnetização em L1 cresce linearmente com taxa de variação limitada pelo valor de L1. A corrente (i1) cresce com taxa de variação limitada por L02 através da chave (Si). Esta etapa dura até o período em que (Iof) alcance zero. Neste instante (t1) o diodo bloqueia. (Dreher, 2012).

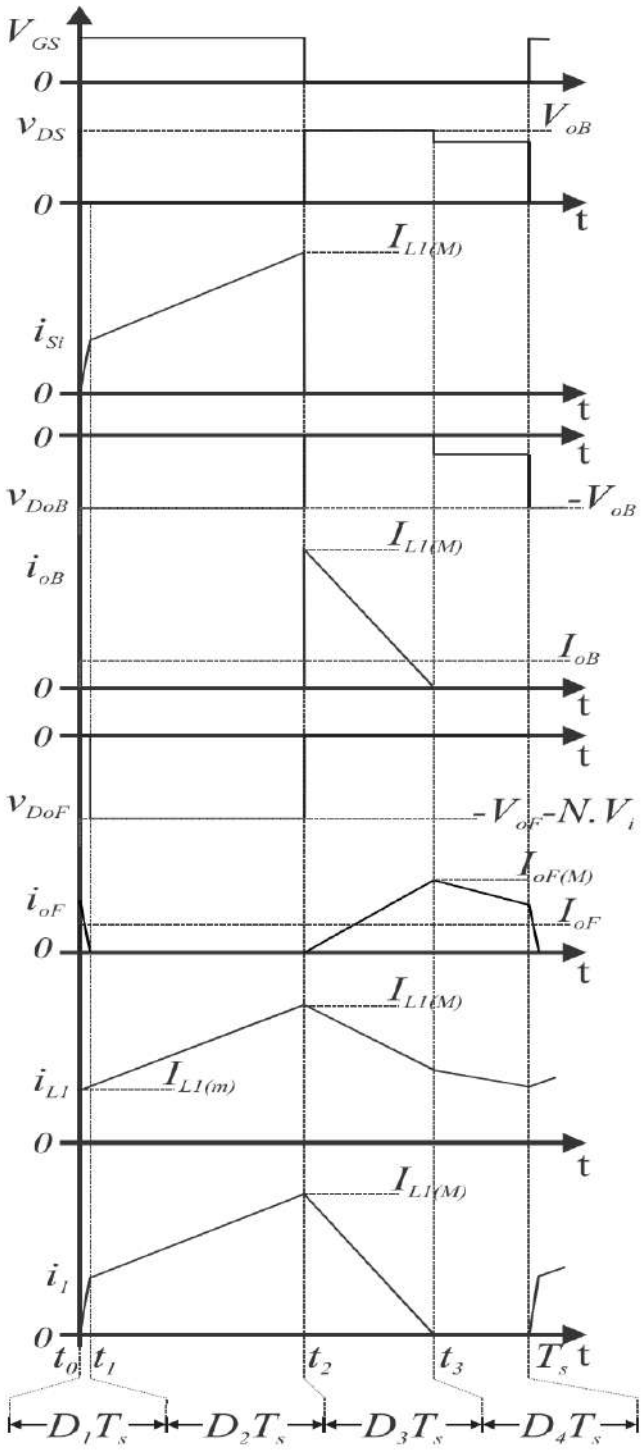



Figura 6. Formas de onda no conversor Boost-Flyback Série durante os períodos de chaveamento.

Etapa (t1 – t2): no instante (t0) que (IoF) vai a zero. Ambos diodos (DoB)e (DoF) estão boqueados e a carga é alimentada pelos capacitores de saída (CoB e CoF). O indutor acoplador acumula energia nesta etapa. Essa etapa chega ao fim quando a chave (Si) bloqueada. (Dreher, 2012).

Etapa (t2 – t3): no instante (t2) a chave é bloqueada. Ambos diodos (DoB e DoF) estão polarizados diretamente. A corrente de magnetização (IL1) passa integramente pelo diodo (DoB) e a corrente na saída do conversor Flyback (IoF) tem um crescimento limitado pela indutância de dispersão Lo2. A tensão da chave (Si) é limitada pela tensão de saída do conversor Boost (VoB). A corrente (IoF) cresce linearmente, enquanto a corrente de (IoB) decresce linearmente. No intervalo (t3) a corrente de magnetização é transferida totalmente para o secundário do indutor de acoplamento (IoF) e corrente da saída do conversor Boost (IoB) vai zero. (Dreher, 2012).

Etapa (t3 – t0): no instante (t3) o diodo do conversor Boost está bloqueado, com isso a transferência de energia para o capacitor (CoB) e também a corrente (i1) chega à zero. A corrente na saída do conversor Flyback (IoF) decresce linearmente. A corrente (IoF) é definida pela razão de transformação do indutor acoplador (N). Esta etapa termina quando a chave (Si) é acionada novamente, isso é início de um novo período de chaveamento. (Dreher, 2012).

## 3. PROJETO DO CONVERSOR BOOST-FLYBACK

A topologia do conversor Boost-Flyback em série que vai ser integrado com um painel fotovoltaico, e os parâmetros da saída são definidos pelo barramento CC que alimenta um inversor de saída para uma possível conexão à rede elétrica.

### 3.1 Especificação do Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico utilizado neste trabalho foi o da marca Kyocera, o modelo é o KD140 SX. Os parâmetros são referidos às condições de teste padrão (STCs - 25◦C e 1000 W/m²) e condições normais de teste de operação (NOCTs - 45◦C e 800 W/m²). Suas caraterísticas do painel fotovoltaico STC (Standard Test Conditions) e NOCT (Normal Operation Cell Temperature) serão apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 - Parâmetros do painel fotovoltaico.

| PARAMETROS | STC | NOCT |
|---|---|---|
| Potência máxima ($P_{MPP}$) | 140 W | 101 W |
| Tensão máxima ($V_{MPP}$) | 17.7 V | 16 V |
| Corrente máxima ($I_{MPP}$) | 7.91 A | 6.33 A |
| Tensão em circuito aberto ($V_{OC}$) | 22.1 V | 20.2 V |
| Eficiência | 14 % | 12,6 % |

A partir do circuito elétrico descrito em Stankiewicz (2013), representado na Fig. 7 com a utilização da ferramenta Psim e com o circuito de simulação do painel fotovoltaico para o rastreamento de máxima potência, optemos a seguinte curva V-I com variação de irradiação.

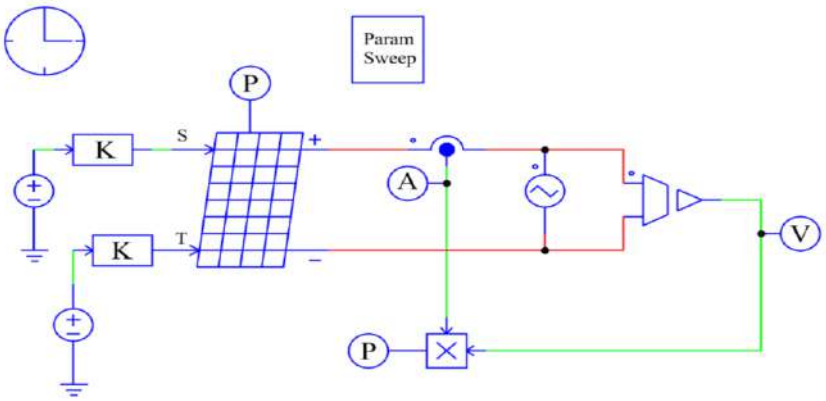



Figura 7 - Circuito de simulação do painel fotovoltaico

### 3.2 Especificação para o projeto Conversor Boost-Flyback

O projeto vai ser constituído por dois modulo de fotovoltaico, um algoritmo de MPPT que é o perturba e observa (P&O) e o conversor Boost-Flyback. Para o desenvolvimento do projeto do conversor Boost-Flyback, começa com necessidade de determinar os valores dos componentes do conversor. Também é necessário definir alguns dados inicias para os cálculos, como potência de entrada máxima ($P_{Max.}$ = 280 w), a tensão de entrada máxima ($V_{Max.}$ = 34,4 V), a corrente de entrada máxima ($I_{Max.}$ = 7,91 A), tensão de saída ($V_O$ = 250 V), a frequência de chaveamento ($F_S$ = 40 kHz), o rendimento (η = 75%) e Razão cíclica (D = 0,5).

A tensão máxima e calculada na Eq. 1 e mínima de entrada na Eq. 2 do conversor é baseada na capacidade de geração do painel fotovoltaico. Que é analisada através da irradiação de 1000 W/m² obtemos a tensão máxima de entrada e para a tensão mínima ou crítica a irradiação de 200 W/m².

$$V_{i(Max.)} = 2 * 17{,}7 = 34{,}4\ V \tag{1}$$

$$V_{i(Min)} = 22{,}36\ V \tag{2}$$

A corrente de entrada também é baseada na capacidade de geração do painel fotovoltaico.

$$I_{in(Max)} = 7{,}91\ A \tag{3}$$

$$I_{in(Min)} = 1{,}68\ A \tag{4}$$

A corrente de saída na Eq. 5 e tensão de entrada Eq. 6 estão relacionada a tensão e corrente de entrada.

$$I_{o(Max.)} = \frac{V_{i(M)} * I_{i(Max.)}}{V_o} = 1{,}08\ A \tag{5}$$

$$I_{o(Min.)} = \frac{V_{i(Min)} * I_{i(Min)}}{V_o} = 0{,}15\ A \tag{6}$$

O ganho estático obtido na Eq.7 através da divisão da tensão de saída pela tensão de entrada.

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = 7{,}26 \tag{7}$$

Para determinar o indutor de magnetização precisa-se a corrente média de magnetização na Eq. 8. Determina se o valor de D= 0,5 da razão cíclica, considerando-se uma ondulação de corrente de magnetização de 1% e assim determina se na Eq. 9 a variação da corrente no indutor. Na Eq. 10 determina a impedância de magnetização.

$$\mathrm{I_{Lm}} = \mathrm{I_{in(Max.)}}\left(\frac{\mathrm{M-D}}{\mathrm{MD}}\right) = 14{,}73\ \mathrm{A.} \tag{8}$$

$$\Delta_{ILm} = 1\% * I_{L1} = 0{,}147\ A \tag{9}$$

$$L_m = \frac{V_{in} D T_s}{2\Delta_{IL1}} = 1{,}46\ m\mathrm{H.} \tag{10}$$

Considerando que o conversor vai operar em modo de condução continua MCC determina se um indutor de magnetização maior do valor obtido no cálculo pra garantir modo de condução. Corrente máxima é corrente mínima que circula no indutor de magnetização (Lm) e determinada pelas Eq. 11 e Eq.12 respetivamente.

$$I_{Lm(Max.)} = I_{L1} + \Delta_{IL1} = 14{,}87\ A, \tag{11}$$

$$I_{Lm(Min)} = I_{L1} - \Delta_{IL1} = 14{,}58\ A \tag{12}$$

A corrente máxima da chave (IS1(Max.)) é a mesma corrente máxima de (ILm (Max.)), pode ser visto na Eq. (13) e tensão máxima sobre a chave (VS1(Max.)) é igual à tensão da saída Boost (VoB), é determinada pela Eq. (14).

$$I_{S1(Max.)} = I_{Lm(Max.)} = 14{,}78\ A \quad (13)$$

$$V_{si(Max.)} = V_{oB} = \frac{V_{in}}{1-D} = 68{,}8\ V. \quad (14)$$

E o cálculo da tensão máxima no diodo Boost (VDoB (Max.)), e da tensão máxima no diodo Flyback (VDoF (Max.)) é definida pelas Eq. (15) e Eq. (16) respetivamente.

$$V_{DoB(Max.)} = -V_{oB} = -68{,}8\ V \quad (15)$$

$$V_{DoF} = -500\ V \quad (16)$$

Para determinar os capacitores (CoB) e (CoF), vai ser calculado o valor da resistência da carga ($R_o$) nas Eq. (17) e Eq. (18) respetivamente.

$$P = \frac{V^2}{R_o}, \quad (17)$$

$$R_o = \frac{250^2}{140} = 446{,}4\ ohms \quad (18)$$

Para os cálculos dos capacitores (CoB) e (CoF) utiliza se uma ondulação de saída de 4% e obteremos o seu valor na Eq. (19). E o capacitor do conversor Flyback (CoB) que é o mesmo valor do capacitor (CoB) pode ser visto na Eq. (20).

$$C_{oB} = \frac{D}{R_o \frac{\Delta V_o}{V_o} F} = 700nF \quad (19)$$

$$\mathrm{C_{oF}} = \mathrm{C_{oB}} = 700\mathrm{nF} \quad (20)$$

Terminados todos cálculos do funcionamento do conversor Boost-Flyback. A Tab. 2 demostra as especificações final do projeto do conversor.

Tabela 2 – Especificações para projeto.

| ESPECIFICAÇÃO | VALOR |
|---|---|
| Potência de saída | 140 W |
| Tensão máxima de entrada | 34,4 V |
| Corrente máxima de entrada | 7,91 A |
| Tensão de saída | 250 V |
| Frequência | 40 kHZ |
| Resistencia na carga | 446,27 Ohms |
| Impedância de magnetização | 1,46 mH |
| Capacitor conversor Boost e Flyback | 700 nF |
| Relação do transformador | 5,5 |

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa vai ser abordo a simulação do projeto Boost-Flyback e mostrado os gráficos de referente a tensão e corrente do conversor, a simulação desenvolvida se no software Psim. Na Fig. 8 podemos analisar o circuito dos painéis fotovoltaico com o algoritmo de MPPT acoplado ao circuito do conversor Boost-Flyback. Este circuito vai ser utilizado para simulação, assim obtêm se os valores de corrente e tensão principais componentes e também suas respetivas formas de ondas.

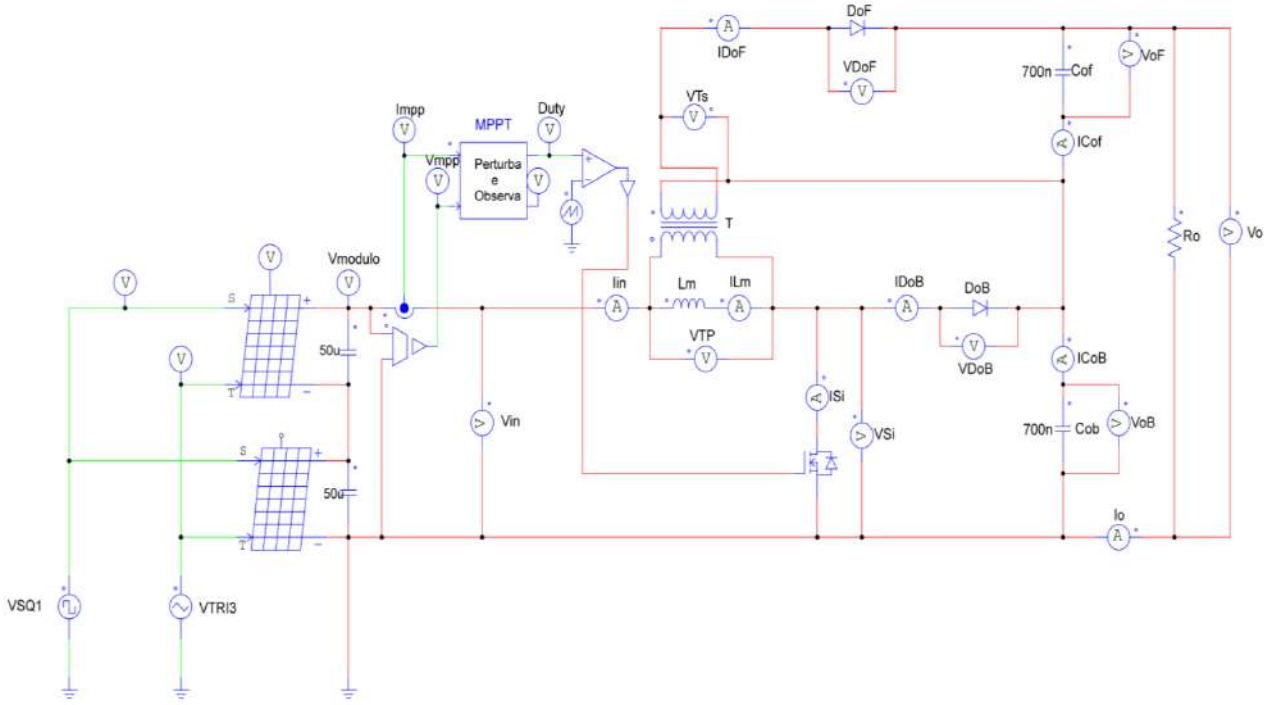



Figura 8 – Circuito conversor Boost-Flyback com painel fotovoltaico.

A simulação é para verificar o comportamento dos componentes do circuito do conversor Boost – Flyback quando acoplado ao circuito do painel fotovoltaico que é constituído por um algoritmo de MPPT. O tempo de simulação 5 até 5,0004 segundos.

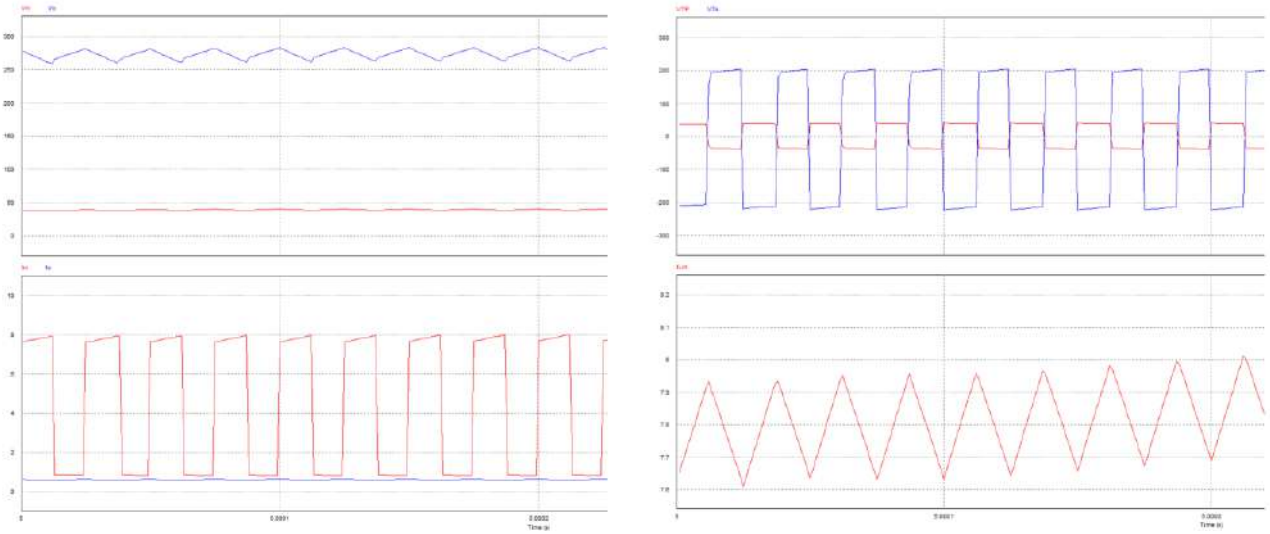


Figura 9 – (a) Formas de onda da tensão e da corrente de entrada e da saída, (b) Formas de onda da corrente do indutor e da tensão do transformador.

A Fig. 9 (a) mostra as tensões e a correntes de entrada e da saída do circuito do conversor. Observa se que a tensão média de entrada da simulação ficou 39,45 V e a corrente média de entrada ficou em 5,70 A. E a tensão média de saída e a corrente média de saída ficou em 273,76 V e 0,613 A, respetivamente. A tensão máxima e mínima de saída ficou 285,22 V e 269,75 V respetivamente, comprando com a ondulação de saída proposto no projeto ficou um valor muito próximo em torno de 4,02%. E também Fig. 9 (b) apresentam as formas de onda do indutor de magnetização e a tensão no primário do transformador, onde a corrente média no indutor (Lm) ficou 7,85 A, a corrente máxima ficou 8,11 A e a corrente mínima ficou 7,61, os valores são considerados muito próximos aos do cálculo ficou em torno de 3,2%.

## 5. CONCLUSÂO

Este artigo apresentou uma topologia de conversor CC-CC que integra os conversores Boost e Flyback. Como principais características da topologia proposta destacam-se: elevado ganho de tensão, reduzidos esforços de tensão nos semicondutores e a capacidade de operação com baixos valores de razão cíclica. Uma análise da topologia e de suas etapas de operação em MCC foi apresentada, onde se verificou que seu funcionamento e mais complexo do que os conversores convencionais. O projeto parte das equações clássicas dos conversores Boost e Flyback, mas utiliza algumas equações e definições específicas desta nova topologia de conversor. Os resultados foram satisfatórios e atendeu a proposta inicial do projeto do conversor.

## 6. REFERENCES

IEA, 2016. *Key World Energy Statistics*. International Energy Agency (IEA). Paris, França.

IEA, 2017. *Earth Trends Data Tables: Energy and Resources*. World Resources Institute. [S.l.]. Paris, França.

IEA, 2018. *Sustainable Development Scenari*o. International Energy Agency (IEA). Paris, França.

REN21, 2017. *Enabling Technologies and Energy Systems integration.* Renewables 2017 Global Status Report (REN21). Paris, 2017.

Dreher, J. R.,2012. *Conversores Boost-flyback Integrados para Aplicação em com Alto Ganho de Tensão*. Dissertação de Mestrado. UTFPR, Pato Branco, Brasil.

Tomalsquim, M. T., 2016. *Energia Renovável: Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*. EPE. Rio de Janeiro, Brasil.

Stankiewicz. A. L.,2013. Estudo comparativo de técnicas de rastreamento de máxima potência para geração de energia solar fotovoltaica. Dissertação de Mestrado. UFSC, Blumenau, Brasil.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DE UM SISTEMA VISUAL DE PROXIMIDADE

**Edson Santos Acco**
**Liege da Silveira Oliveira**
**Samuel Coleraus Paludo**
Universidade de Passo Fundo – Passo Fundo - RS
Endereço da instituição (agrupar os autores da mesma instituição)
edson@upf.br, 145520@upf.br, 155907@upf.br

***Resumo:*** *Esse artigo descreve os passos adotados no desenvolvimento de um sistema visual de proximidade, o qual aciona uma lâmpada com dimerização em intervalos discretos. A ideia central é que a intensidade da lâmpada sofra uma variação discreta, onde a velocidade entre as transições está diretamente relacionada com a distância em que o sistema se encontra de determinado objeto. O projeto contou com diversas etapas, desde o dimensionamento de todos os componentes, até o desenvolvimento de um protótipo. Além disso, também foram abordados aspectos de diversas disciplinas, sendo as principais Eletrônica de Potência, Eletrônica Analógica e Microprocessadores.*

***Palavras chave:*** *lâmpada, dimerização, Eletrônica de Potência, Microprocessadores*

## 1. INTRODUÇÃO

Esse projeto tem a finalidade de implementar um sistema visual de proximidade utilizando conceitos de diversas áreas da Engenharia Elétrica, tais como área da Eletrônica de Potência e Analógica e Microprocessadores. Desta forma, o projeto visa acender uma lâmpada com variações de intensidade em intervalos discretos, fazendo assim com que a intensidade da lâmpada varie de acordo com a aproximação de algum objeto deste. Ou seja, o efeito que a lâmpada vai descrever está ilustrado na Fig 1. Além disso, a velocidade com que esse efeito ocorre aumentará quando um objeto se aproxima, sendo que, quanto mais próximo um objeto estiver, mais rápido será o efeito.

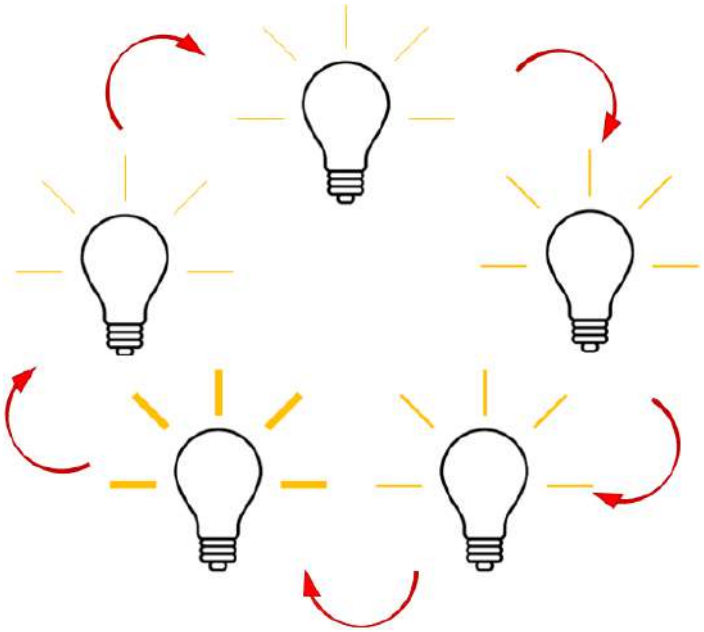


Figura 1. Efeito da lâmpada.

Para controlar a intensidade da lâmpada foi utilizado um TRIAC. Segundo Rashid (1999, p. 388), um TRIAC consegue conduzir em ambos os sentidos, e é normalmente utilizado em controle de fase CA. Ele pode ser considerado dois SCRs conectados em antiparalelo com uma conexão de porta comum. É possível ver na Fig. 2 as formas de ondas proporcionadas pelo controle com TRIAC, as quais serão aplicadas na lâmpada para variar a intensidade da mesma.

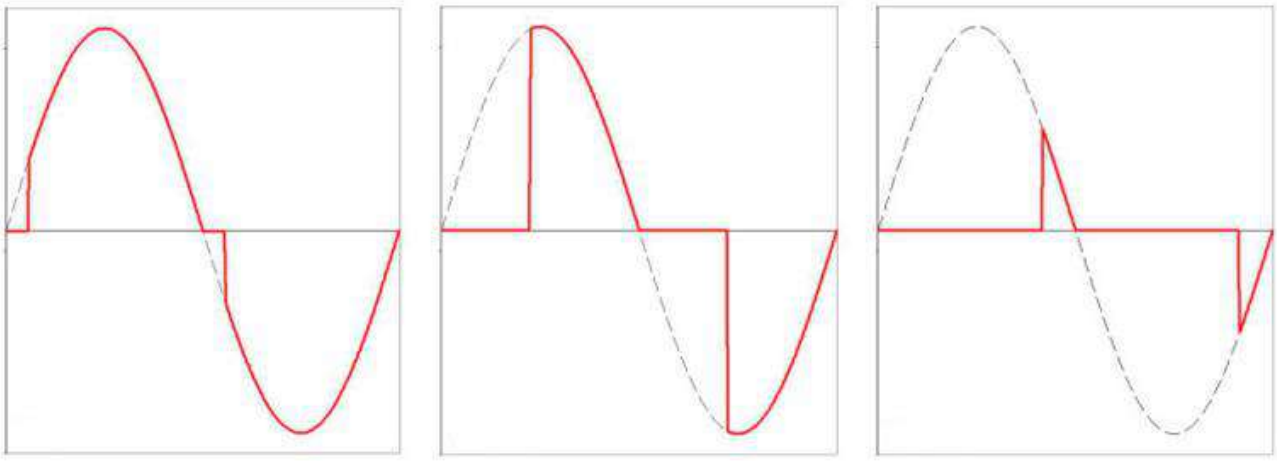


Figura 2. Controle de fase com TRIAC

O circuito deste trabalho foi dividido em algumas partes, tais como: circuito de alimentação, circuito de isolação e fonte, detector de zero, sensor de distância e controle do mesmo, isolação e carga. Essa divisão foi feita para facilitar o projeto e implementação do circuito, dessa forma tais etapas serão explicadas e detalhadas no decorrer deste artigo.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O primeiro passo do projeto foi a elaboração de um diagrama de blocos que idealizava a implementação do mesmo. O diagrama está representado na Fig. 3.

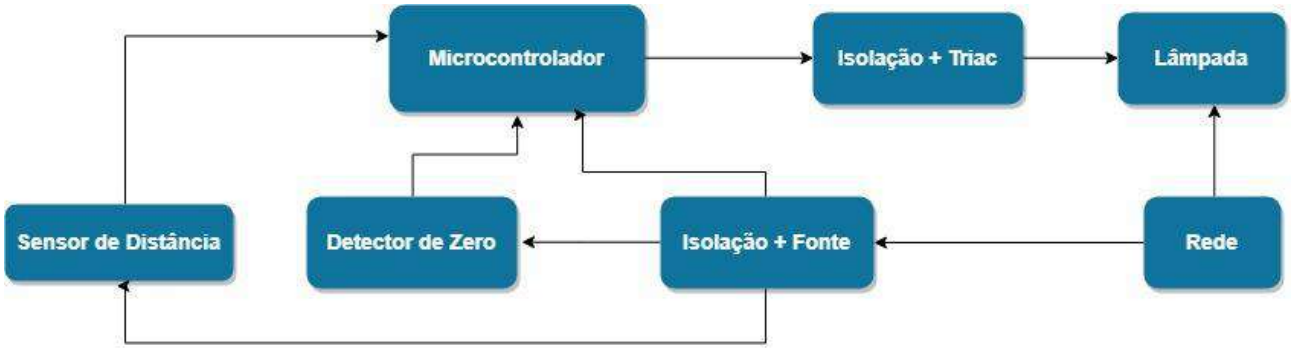



Figura 3. Diagrama de blocos do projeto

Basicamente, a lógica consiste em utilizar um microcontrolador para capturar a distância de um objeto pelo sensor de distância e, a partir disso, de forma sincronizada com a rede elétrica, disparar um TRIAC. O circuito implementado foi dividido em várias partes, que serão abordadas separadamente. A Figura 4 mostra o circuito de alimentação. Ele é composto por uma chave, que tem a função de ligar e desligar o circuito, um fusível, que tem a função de proteger o circuito contra curto-circuito, e um varistor, o qual desempenha a função de proteção contra sobretensão.

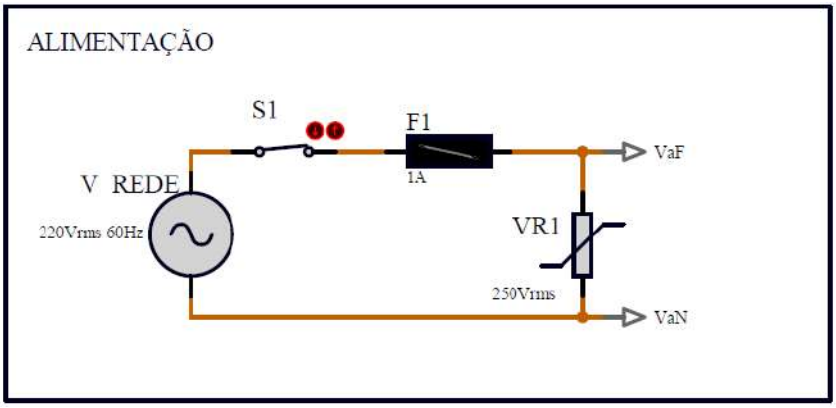



Figura 4. Circuito de alimentação

Na Figura 5 está representado o circuito de isolação e fonte. O mesmo é composto por um transformador de 220V para 9V + 9V, um retificador de onda completa com tape central, um capacitor de filtro (C1) e um regulador de tensão de 5V. Os capacitores C2 e C3 são usados junto com o regulador conforme orientação do fabricante.

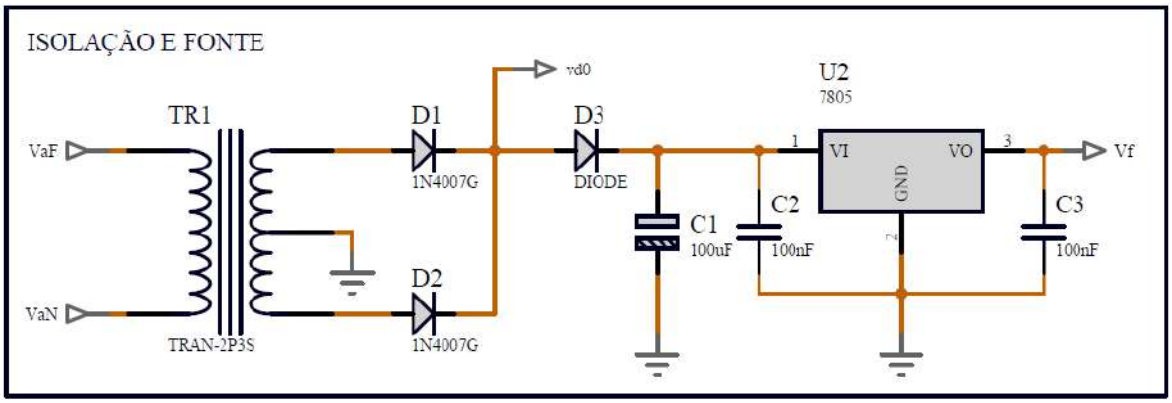



Figura 5. Circuito de isolação e fonte

Para detectar a passagem por zero da rede elétrica, foi utilizado um circuito detector de zero, o qual pode ser visto na Figura 6. O seu funcionamento é bastante simples: o sinal do retificador é ligado na base do transistor, assim na passagem por zero o transistor para de conduzir e a tensão em seu coletor vai para 5 V.

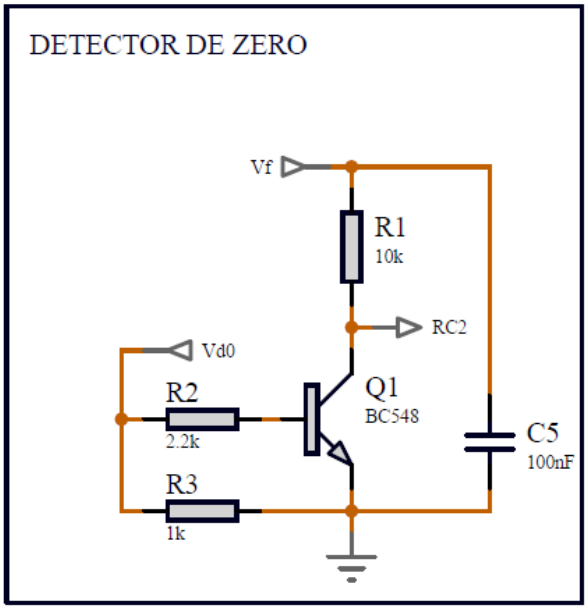



Figura 6. Circuito detector de zero

Para medir a distância, foi utilizado o sensor HC-SR04. Na Figura 7 há uma imagem dele ilustrando o seu funcionamento e na Fig. 8 o modo que ele foi implementado no circuito.

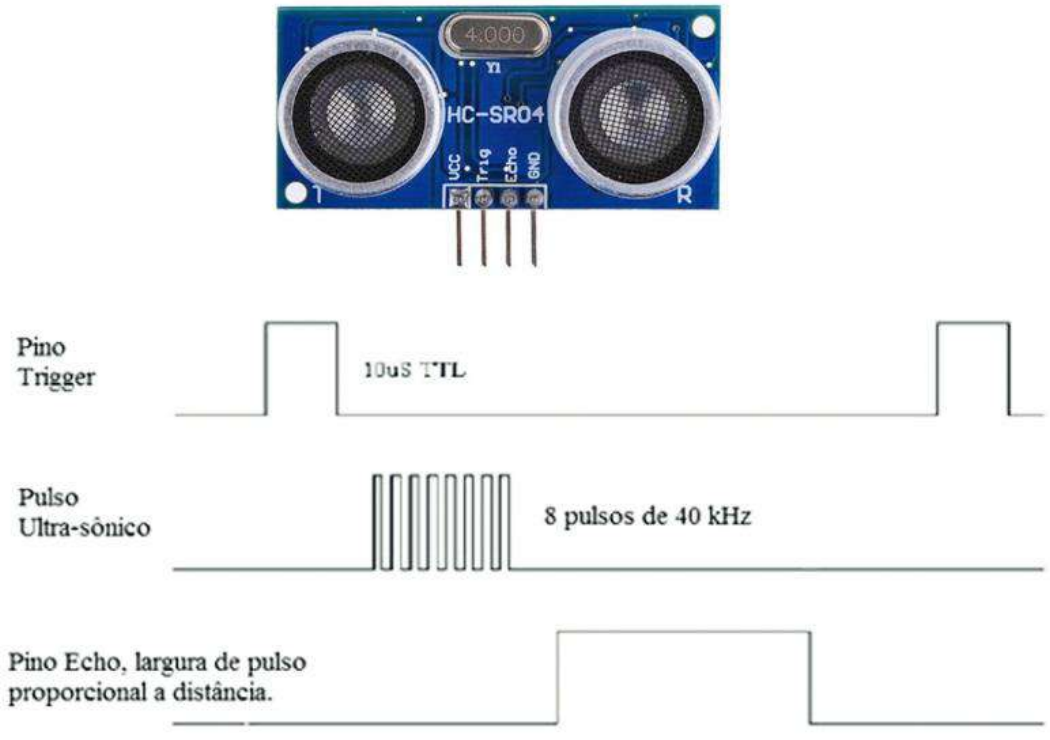



Figura 7. Sensor HC-SR04

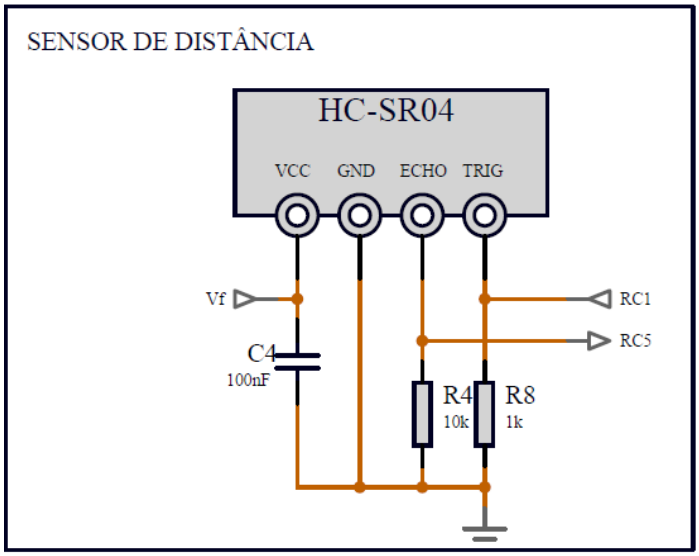



Figura 8. Circuito do sensor de distância

Para medir a distância, esse sensor emite um sinal ultrassônico que não é audível devido à alta frequência (40 kHz). Isso ocorre a partir de uma borda de descida no pino trigger. Para saber a distância que um determinado objeto se encontra do sensor, devemos calcular o tempo que o sinal ultrassônico demora para ir até o objeto e voltar. Tendo esse tempo, basta multiplicar pela velocidade do som do meio onde o sensor está e dividir por dois (sinal emitido considera o tempo de ida e volta) e se obtém a distância. De forma geral, considerando a velocidade do som como 340 m/s, a distância é dada pela Eq. (1):

$$distância = \frac{1}{2} \cdot largura\ pulso[s] \cdot 340\left[\frac{m}{s}\right] \quad (1)$$

O circuito de controle foi feito com o microcontrolador PIC16F684 e o mesmo está representado na figura 9. A frequência de oscilação foi configurada para 2MHz. Para medir o sinal do sensor, foi utilizado a captura do módulo CCP. Além disso, os disparos para o TRIAC foram feitos utilizando o timer 0.

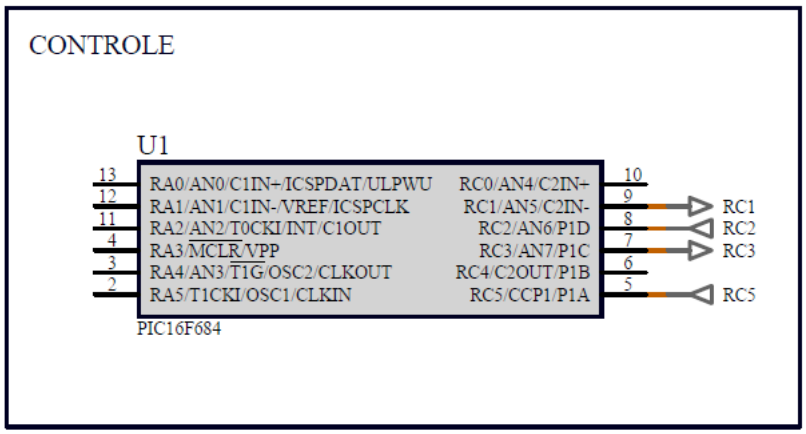



Figura 9. Circuito de controle

A lógica de programação segue os seguintes passos:

1. Envia sinal para o sensor de distância.
2. Realiza a captura do sensor de distância.
3. Espera o sinal do detector de zero da rede elétrica.
4. Dispara o TRIAC no ângulo programado.
5. Repete os passos 3 e 4 n vezes, onde n é proporcional ao sinal obtido do sensor de distância.
6. Repete todos os passos acima para um novo ângulo de disparo.

O circuito que faz o acionamento da lâmpada está representado na Figura 10. Para isolar o microcontrolador do TRIAC e da rede elétrica, foi utilizado o MOC3020.

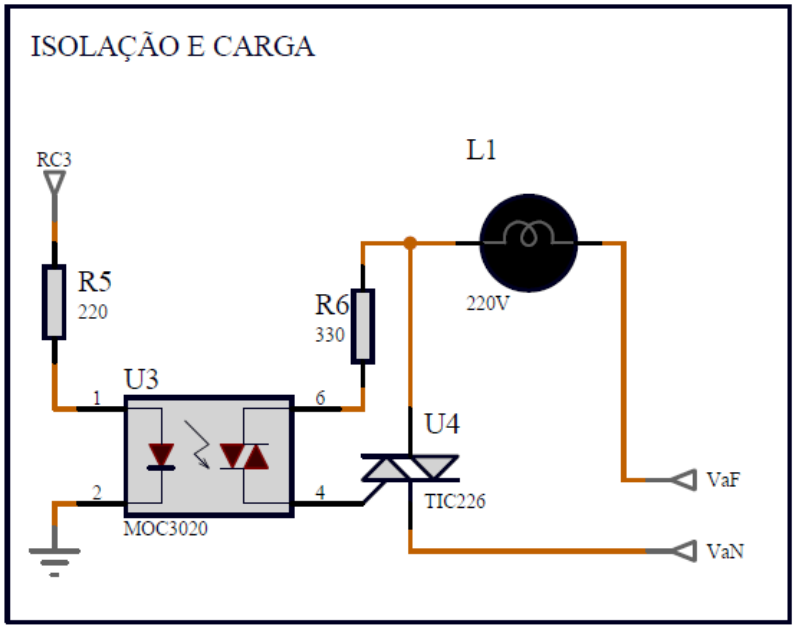



Figura 10. Circuito de isolação e carga

Como o objetivo do circuito era ligar uma lâmpada em intervalos discretos, foram escolhidos, de forma experimental, 5 ângulos para disparo do TRIAC. A Tab. 2 mostra esses ângulos e a tensão eficaz aplicada sobre a lâmpada para cada caso.

Tabela 2. Ângulos de disparo

| **Ângulo (°)** | **Tensão eficaz** |
|---|---|
| 135° | 66,31 V |
| 121° | 95,20 V |
| 104° | 129,69 V |
| 86° | 162,32 V |
| 5° | 219,98 V |

## 3. RESULTADOS

Por fim, o circuito projetado foi montado em protoboard para testes e posteriormente em uma placa wire up, a qual foi colocada dentro de uma caixa plástica juntamente com os outros componentes. Esses passos estão ilustrados na Fig. 11

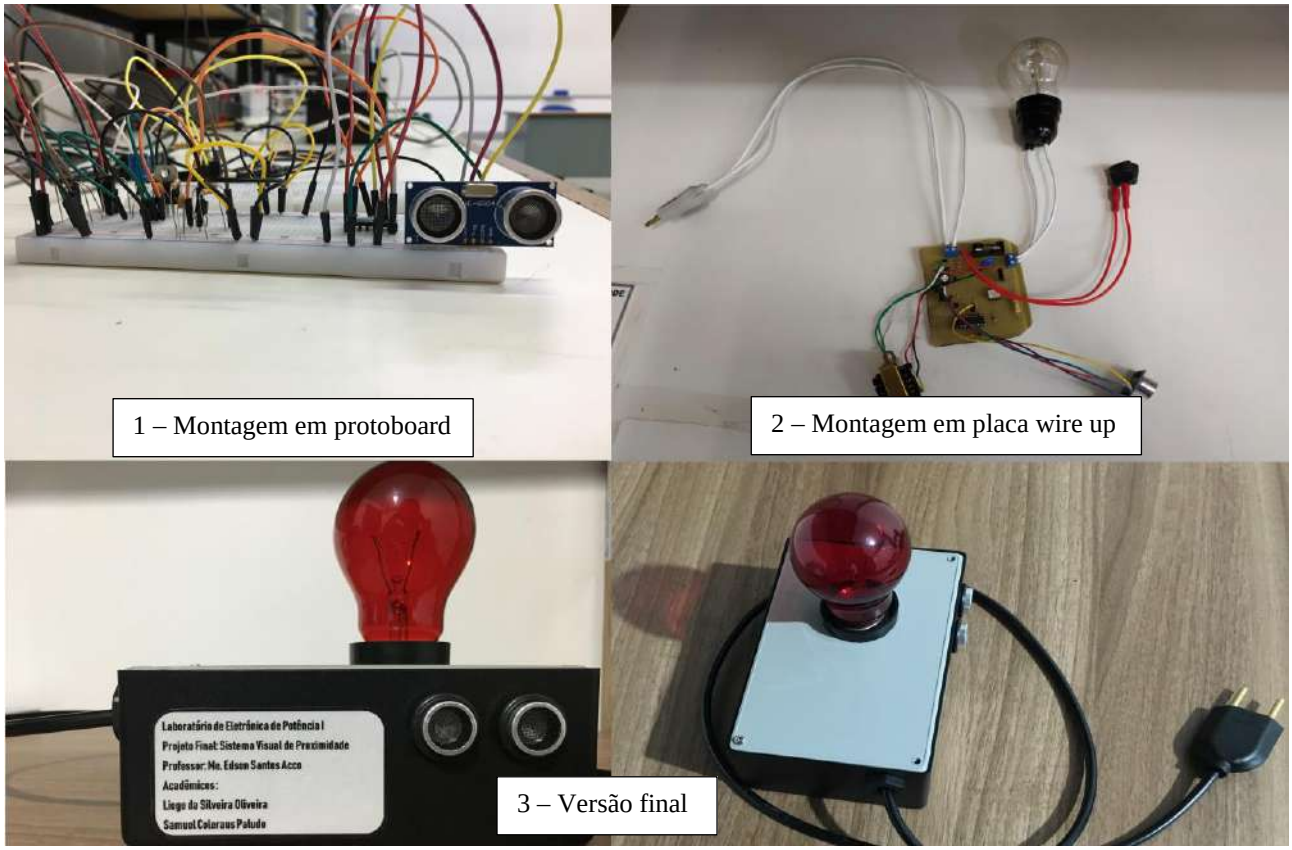



Figura 11. Protótipo desenvolvido

## 4. CONCLUSÕES

Portanto, é evidente que a elaboração de todo o projeto foi um desafio, mas no final foi possível obter êxito com o mesmo. Alguns detalhes do trabalho podem ser ressaltados, como o sensor de distância, que apresentou uma boa exatidão e estabilidade, sendo que isso contribuiu muito para o efeito visual na lâmpada. Além disso, pode-se ver que o circuito ficou bem compacto devido ao uso de um microcontrolador. Obviamente que a implementação da mesma lógica sem a utilização desse componente seria bem mais trabalhosa e, provavelmente, não apresentaria um resultado tão bom como o obtido. Outro detalhe a ser evidenciado, é a questão da isolação, pois o circuito de controle é isolado da rede elétrica por meio do transformador e da carga através de um optoacoplador. Isso é muito importante, pois apesar de aumentar o custo do projeto, propicia uma maior segurança.

## 5. REFERÊNCIAS

Rashid, M., 1999. *Eletrônica de Potência: circuitos, dispositivos e aplicações*. Makron Books, São Paulo, 1° edição.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DO PROCESSAMENTO DE DADOS EM UM SISTEMA DIGITAL APLICADO A UMA CALCULADORA COM PORTAS LÓGICAS

**Camila Sampaio dos Reis**
**Luis Augusto Debastiani**
**Vítor Antônio Morgan**

Universidade Regional Integrada do Alto Uriguai e das Missões – Campus II – RS 331, n° 345 – Bairro Demoliner. Erechim, RS.
camilasampaiodosreis@gmail.com,luisaugustodebastiani@gmail.com, vitormorgan2000@gmail.com

***Resumo:*** *Este artigo aborda o funcionamento de uma calculadora, que, apesar de não apresentar grande complexidade, apresenta os principais "pilares" de um sistema digital, onde é possível compreender como um aparelho eletrônico é capaz de interpretar e processar dados. O método proposto descreve o funcionamento de um sistema digital, onde informações são coletadas, processadas e então devolvidas. Como a comunicação entre homem e máquina não envolve a mesma linguagem é necessária uma conversão de dados antes do processamento: os números são inseridos em formato decimal, convertidos em sua forma binária, e então devolvidos para o usuário de forma decimal. Com base no exposto foi possível representar o processo digital realizado por uma calculadora, sendo possível constatar o funcionamento de um sistema digital.*

***Palavras chave:*** *calculadora, eletrônica digital, lógica booleana, portas lógicas.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os equipamentos eletrônicos são utilizados desde a fabricação de celulares, computadores, televisores e até mesmo máquinas de lavar roupas. Embora não precisamos entender como tudo isso é processado dentro dos componentes eletrônicos para usufruir dos mesmos, o conhecimento de seu funcionamento nos permite desenvolver novos equipamentos baseados em tecnologias já existentes, de uma forma aprimorada.

Dispositivos eletrônicos estão presentes em nosso cotidiano e tem se tornado indispensáveis para suprir as mais variadas necessidades do ser humano. A maioria dos sistemas eletrônicos dispõem de eletrônica analógica e eletrônica digital. Para que um sistema analógico seja convertido em um sistema digital há a necessidade de uma conversão de dados.

Os computadores e as calculadoras digitais realizam várias operações aritméticas com números representados no formato binário. O tema da aritmética digital pode ser muito complexo se desejarmos entender os diversos métodos de computação e a teoria que os envolve (Tocci, *et al.*, 2011).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de sistemas digitais inicia-se com sistemas numéricos, mais especificamente decimal e binário. Isto é a base para o entendimento do assunto. A partir da junção do sistema de números decimais é possível escrever todos os números que existem. Os aparelhos eletrônicos reconhecem apenas dois deles: 0 e 1, onde 1 representa a passagem de energia e 0 o inverso disto (sistema de números binários). Tendo dois sistemas numéricos, é preciso que haja uma conversão entre os números, onde um valor binário possa ser entendido por um humano e um valor decimal possa ser entendido por uma máquina. Por exemplo, o número 56 é representado pela junção dos algarismos 5 e 6. Para que uma máquina entenda é preciso representá-lo da seguinte forma: 111000.

Como visto, a álgebra booleana permite apenas dois valores, a qual possui três operações básicas, OR, AND e NOT, as quais podem descrever qualquer circuito lógico (Tocci, *et al.*, 2011). Sistemas digitais operam milhares de bits por segundo. Cada bit representa se há ou não a passagem de energia. Por meio desta codificação, conhecida como código binário, funcionam todos aparelhos eletrônicos.

Trazendo agora esta ideia para a análise de uma calculadora digital, cada número que entra nela é convertido para a forma binária, e só depois disso é encaminhado para a unidade de processamento (UP). Na UP os números passam por um sistema combinacional de portas lógicas, responsáveis por devolver a informação após ser comparada com outros valores.

O fluxograma da Fig. 1 representa o processo de conversão de dados de uma calculadora digital. Inicialmente se observa a entrada de informações (números), a conversão decimal-binário, o processamento, a conversão binário-decimal, e a apresentação das informações (resultado).

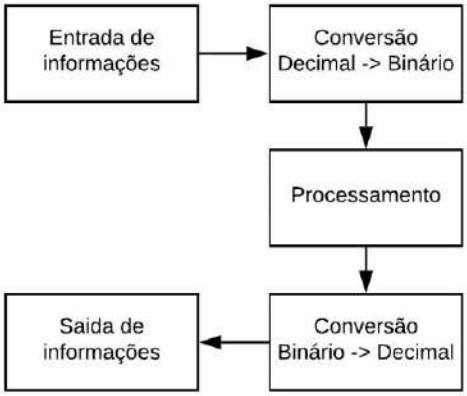



Figura 1. Processo de conversão de dados de uma calculadora.

A unidade de processamento é composta por poucas portas lógicas. Estas, por sua vez, são compostas por componentes eletrônicos, a maioria deles transistores e resistores. A passagem de corrente elétrica pelos componentes irá gerar saídas do tipo 0 ou 1. Basicamente, cada combinação de dados entrando gera uma (única) saída de dados diferentes.

### 2.1 O Meio-somador

A combinação das portas lógicas XOR e AND resulta em um meio-somador Fig. 2, onde são aceitos dois dígitos binários em suas entradas e produz dois dígitos binários em suas saídas, um bit de soma e um bit de carry (Floyd, 2007).

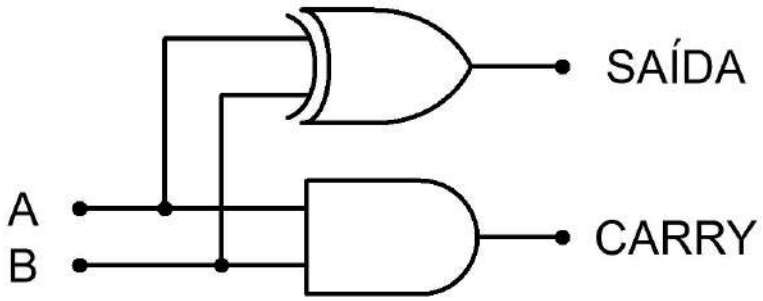



Figura 2. Meio-somador.

Ao somarmos dois números binários, podemos pensar numa soma entre dois números decimais:

$$\begin{array}{r} 274 \\ +\ 358 \\ \hline 632 \end{array}$$

Iniciando a soma entre 4 e 8, obtemos o número 12. Escrevemos o número 2 e passamos o número 1 para a próxima parcela da soma. Esta passagem, ou "armazenamento" do número por alguns segundos é conhecido pelo termo em inglês *carry*. Trazendo esta mesma ideia para a soma binária é realizada a soma dos números 5 e 7:

$$\begin{array}{rl} 0\ 1\ 0\ 1 & \text{(5 em binário)} \\ +\ 0\ 1\ 1\ 1 & \text{(7 em binário)} \\ \hline 1\ 1\ 0\ 0 & \text{(12 em binário)} \end{array}$$

A tabela-verdade Tab. 1 foi gerada a partir desta combinação, e exemplifica a ideia do bit de *carry*, onde um bit fica "sobrando" e, portanto, é armazenado para o próximo valor.

Tabela 1. Tabela verdade do meio somador.

| A | B | Saída |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 10 |

A tabela-verdade acima apresenta quatro resultados: 0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1 e por fim 1 + 1 = 10. A soma dos bits 1 e 1 resulta em 10, o qual representa o número decimal 2 em sua forma binária. Teoricamente, é este o resultado desejado. No entanto, para que a máquina trabalhe com estes valores, é preciso armazenar o bit 1. Este armazenamento é chamado de "carry" (Tocci, *et al.*, 2011).

### 2.2 O Somador-completo

Adquirida a ideia do meio-somador, o somador-completo corresponde a um "meio-somador duplo". Isso é necessário pois além de se efetuar a soma de um bit da primeira parcela com um bit da segunda parcela, o sistema digital pode se deparar com a soma de um bit de *carry*, algo análogo ao "armazenamento" quando é realizada uma soma com caneta e papel, onde escreve-se parte de um número e a outra parte dele soma-se com o numero seguinte.

Desta forma, após efetuar a soma das parcelas, o resultado será novamente somado com o *carry*. O resultado dessas duas somas em sequência poderá gerar um *carry* que então será somado a soma das parcelas dos bits de valores maiores subsequentes.

Logicamente, a primeira soma a ser efetuada não possui um *carry* igual a zero, uma vez que, por se tratar da primeira soma, ainda não foram efetuadas somas anteriormente para que se obtivesse um *carry* para somar. A lógica por trás de um somador completo pode ser vista na Fig. 3, e o símbolo lógico do mesmo na Fig. 4.

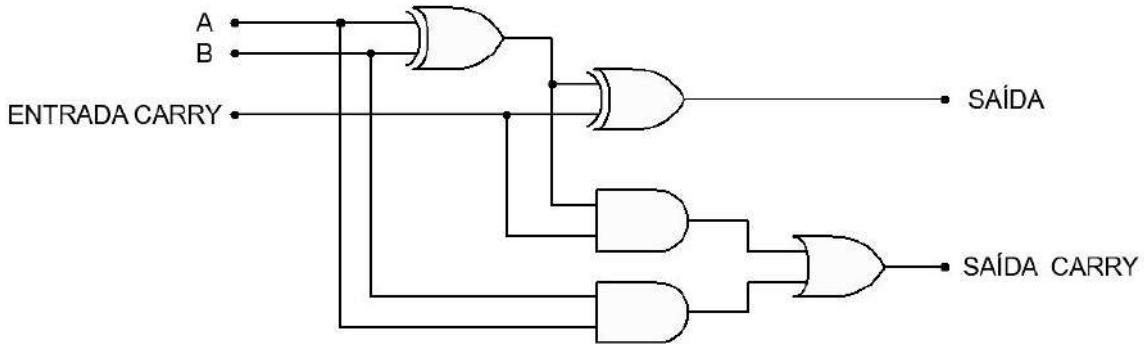



Figura 3. Somador completo.

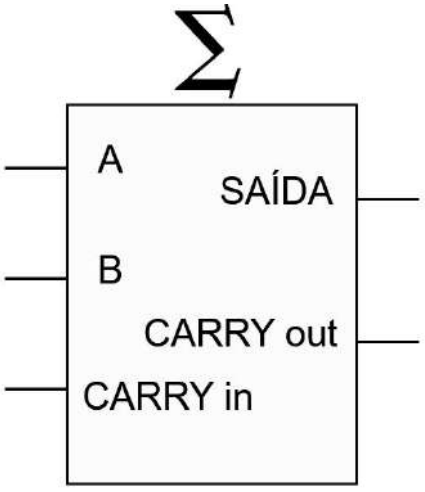



Figura 4. Símbolo lógico somador completo.

Computadores e celulares, não efetuam apenas uma soma, com dois bits e um possível *carry*, eles operam com números de vários bits. Embora isto possa parecer um problema, sua solução é muito simples, basta que somadores completos sejam associados em série.

Para se obter a soma de 2 números em representação binária, ambos com 2 bits, são necessários 2 somadores-completos. Nas entradas A e B do primeiro somador-completo são inseridos os bits de menor peso de cada uma das parcelas. Um possível *carry* gerado por essa operação (*Carry out*) será direcionado para a entrada de *carry* (*Carry in*) do segundo somador-completo, e os bits mais significativos dos dois números binários são direcionados para as portas A e B do segundo somador-completo, conforme a Fig. 5.

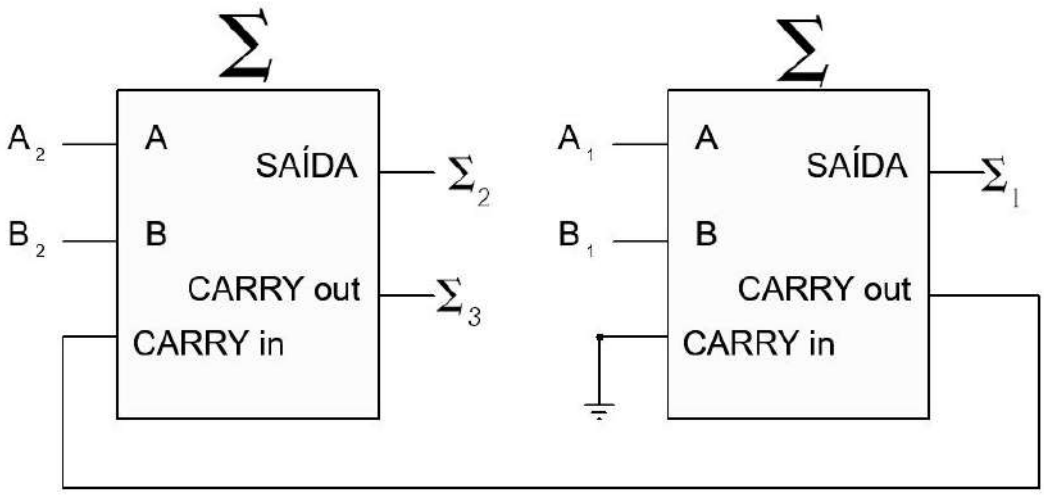



Figura 5. Somador completo utilizado para soma de dois números binários.

Esse procedimento de interligar os "*carrys"* permite expandir o sistema de soma o quanto for desejável. A Figura 6 mostra uma associação de somadores-completos para 2 números binários de, no máximo, 4 bits.

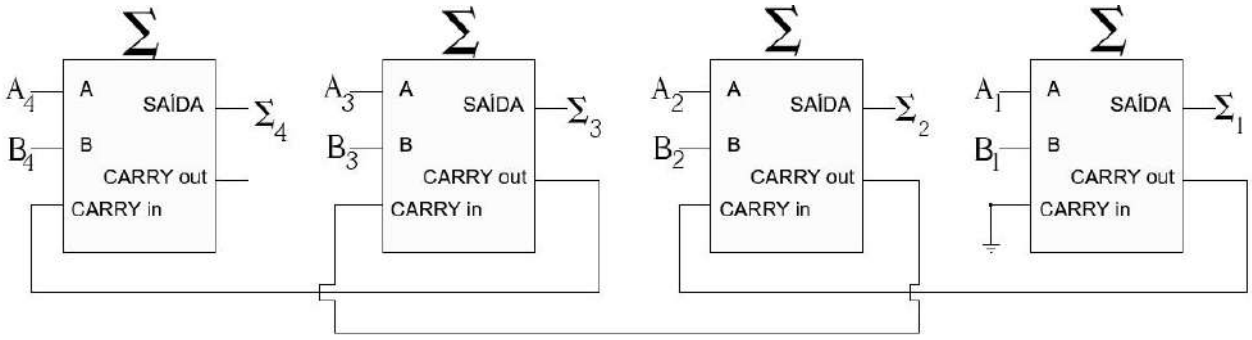



Figura 6. Somador completo utilizado para *n* combinações.

As portas lógicas ao efetuarem a operação de soma, se depararam com possibilidades de parcelas. Na Tab. 2 são apresentados os respectivos resultados da operação lógica.

Tabela 2. Tabela verdade do somador completo.

| **Entrada A** | **Entrada B** | **Soma** | ***Carry*** |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

O resultado 1 é obtido somente se apenas uma das parcelas for 1. Caso as duas parcelas forem 1 teremos um resultado 0 e um *carry* 1. Desta forma, pode-se utilizar uma porta XOR, cuja função é justamente gerar uma saída 1 quando somente uma de suas entradas for 1.

Ou ainda, uma porta XOR, possui um circuito interno que produz uma saída 1 se as suas entradas estiverem em níveis (0 ou 1) opostos. A expressão booleana de saída de tal porta é x=A'B +AB' (Tocci, *et al.*, 2011).

O *carry* somente assumirá valor 1 quando as duas parcelas forem 1. A porta digital AND gera uma saída 1 somente se em suas ambas entradas houver um bit 1. Exatamente o que é necessário.

## 3. RESULTADOS

Para fins de comprovação, o circuito exibido em Fig. 7 foi simulado no aplicativo Proteus.

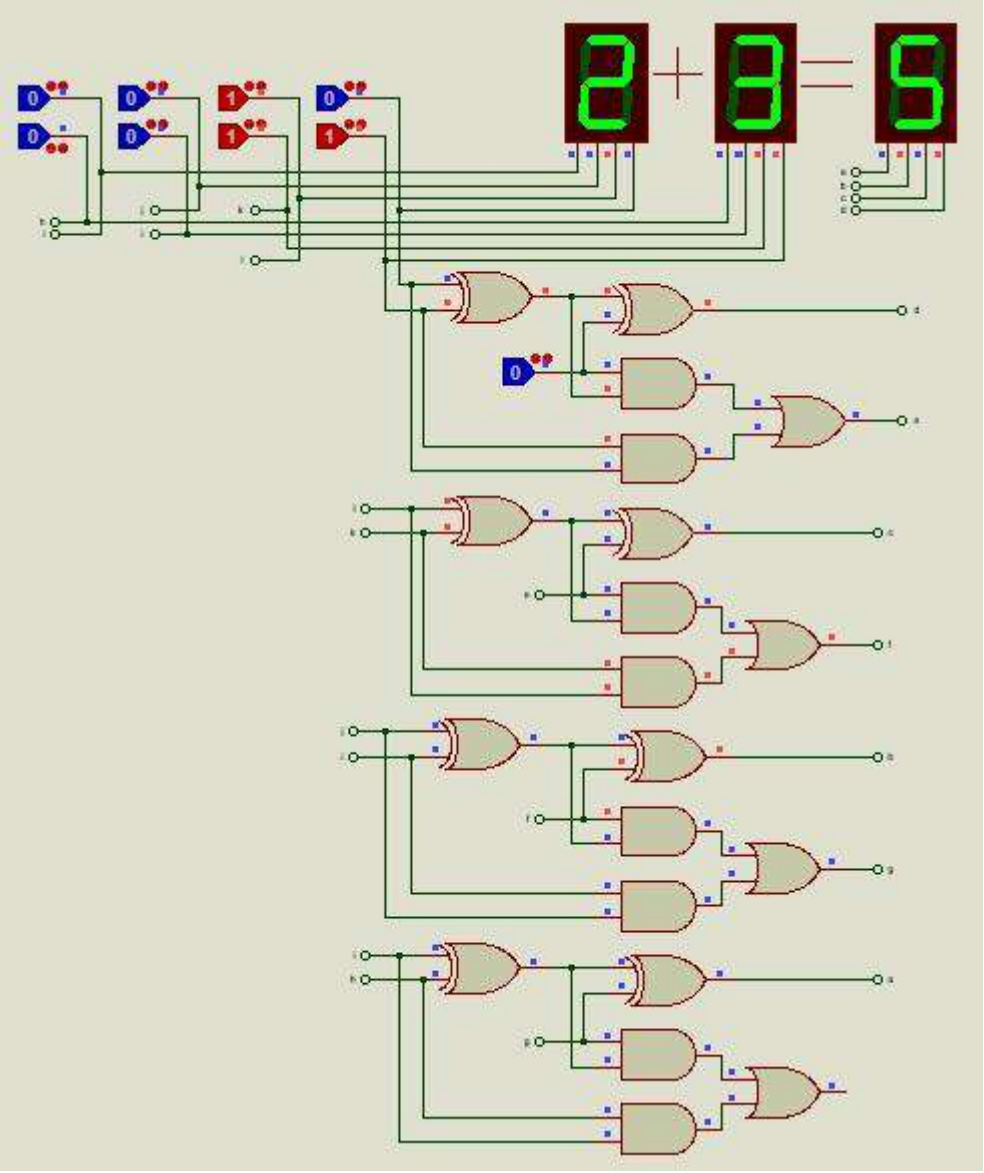



Figura 7. Resultado.

O circuito acima permite fazer somas onde o resultado da mesma seja um numero de no máximo 8 bits. Para que possa exibir um valor maior, basta acrescentar mais circuitos em série, bem como displays para exibir os valores.

Na Fig. 8 pode ser visto um exemplo do que o ocorre quando o número de bits é excedido: o display passa a apresentar a letra C ao somar 4 e 8. Isso ocorre devido as ligações entre o circuito e o display. Para a correção deste caso, seria necessário o aumento do circuito e dos displays.

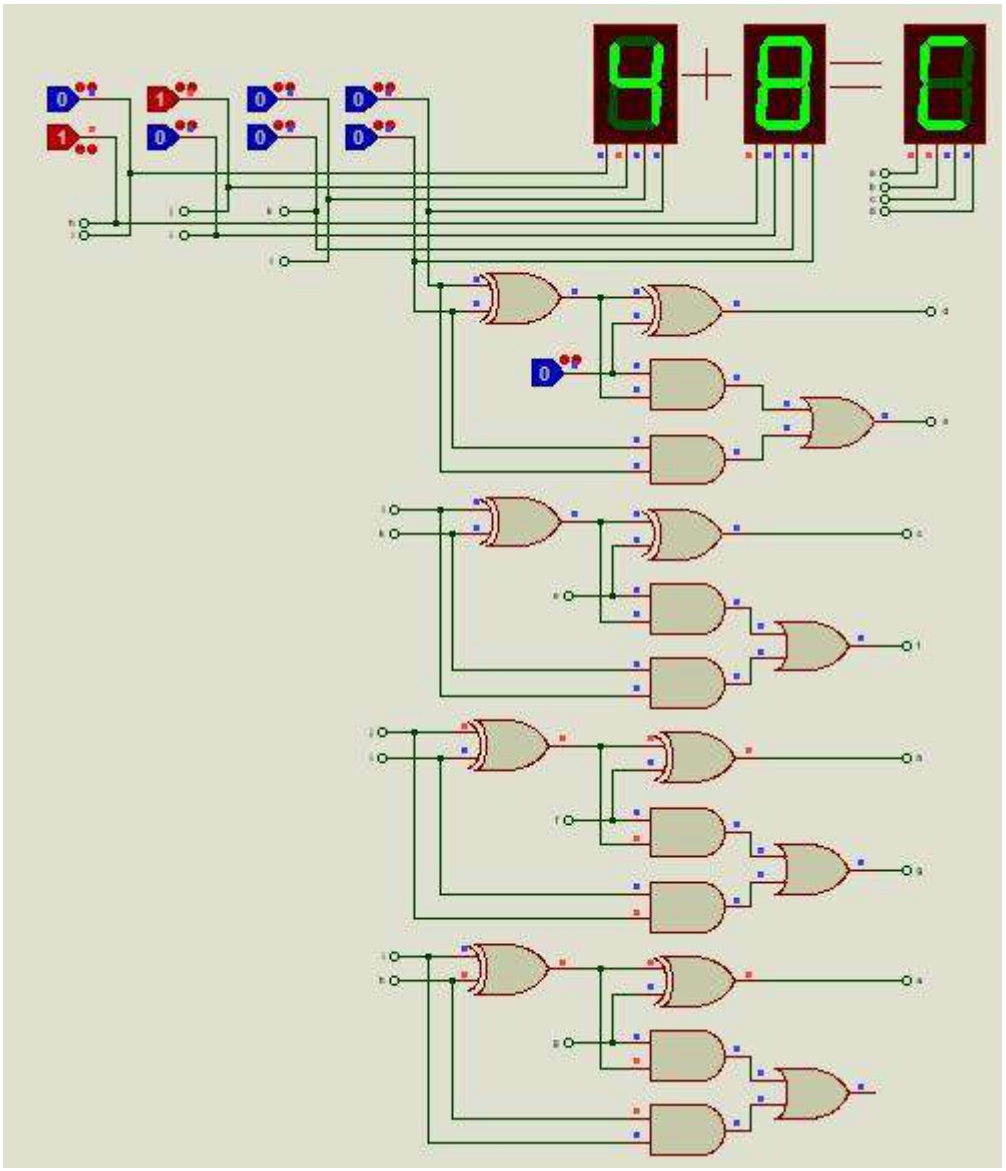


Figura 8. Valor binário excedido.

## 4. CONCLUSÃO

O método acima apresentado expressa a interpretação de dados por um sistema digital, bem como seu processamento. Como visto, uso da lógica digital permite a construção de sistemas capazes de realizar muitos cálculos, como faz um computador.

Desta forma, a implementação de uma calculadora construída por meio de portas lógicas se torna inviável, afinal, exige uma grande quantidade de componentes, que acaba encarecendo o projeto. No entanto, o presente artigo traz consigo o objetivo de demonstrar o funcionamento de um sistema digital, este cumprido de forma sucinta.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a URI – Erechim.

## 6. REFERÊNCIAS

Floyd, T. L., 2007. *Sistemas digitais: fundamentos e aplicações*. 9. ed. Bookman. Porto Alegre.

Tocci, R. J., Widmer, N. S., Moss, G. L., 2011. *Sistemas digitais: principios e aplicações*. 11. ed. Pearson Prentice Hall. São Paulo.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Mecânica:

# Engenharia do Produto

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DE UM GUINCHO MECÂNICO PARA O UTILITÁRIO JEEP UNIVERSAL

**Bernardo Parizotto Pasetti**
**Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
148062@upf.br; ipar@upf.br; mwalber@upf.br.

**Resumo:** *Os veículos Off-Roads possuem uma dificuldade de passar em alguns obstáculos, e para auxiliar isso, no trabalho atual teve como intuito projetar um mecanismo para retirar um veículo Off-Road de um obstáculo com facilidade, utilizando o torque do motor como energia de entrada para o funcionamento do mesmo. Foi selecionado para realizar o projeto um modelo de guincho mecânico, onde o mesmo utilize o torque do motor e não exponha o operador. No decorrer do trabalho definiu-se requisitos e especificações técnicas, para assim realizar o anteprojeto, onde foi realizado o dimensionamento e a seleção de alguns componentes. No trabalho em questão, conclui-se que todos os objetivos propostos foram atendidos, e uma das principais conclusões que se chegou foi sobre o componente do guincho responsável por rebocar o veículo, a cinta de carga. Foi utilizado uma cinta de elevação de carga ao invés de um cabo de aço, apesar de não ser convencional a sua utilização para guinchos, a cinta apresenta vantagens significativas sobre o cabo de aço para essa determinada aplicação*.

***Palavras chave:*** *Guincho Mecânico; Sistema de reboque; Desenvolvimento de produto.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Jeep Willys é muito encontrado em fazendas, trilhas, passeios, desafios extreme e outras utilizações, devido a ter o objetivo quando fabricado de ser um veículo destinado para fins militares e para serviços gerais. Quando a Willys lançou o Jeep para uso civil, logo em seguida o mesmo se destacou no uso em rodovias e fazendas, apresentando um bom desempenho em estradas de terras com difícil acesso e passando por obstáculos com facilidade, e por isso ficou conhecido como veículo Off-Road (MILLIGAN, 2009).

A Sigla Off-Road tem o significado de "fora de estrada", o significado desse termo é a pratica de atividades variadas em locais desprovidos de estradas pavimentadas, com o passar dos anos essa atividade se tornou prática como lazer e competições organizadas. No Brasil essa atividade possui o nome de Trilhas, a cada ano que passa os Jeeps evoluem e tem mais tecnologia empregada nos mesmos, com isso os desafios ficam cada vez mais difíceis. As vezes acontece de o Jeep atolar nesses obstáculos, e para ser retirado dessa situação é necessário um guincho para realizar a sua remoção.

No atual trabalho foi empregada a metodologia de projeto desenvolvida por Pahl et al. (2005) para realizar o desenvolvimento do projeto de um Guincho mecânico para instalação no utilitário Jeep Universal, com a finalidade de ser eficiente e compacto. Esse modelo de guincho utiliza o torque gerado no motor através de uma tomada de força para realizar o seu movimento, com isso proporciona uma boa eficiência com um custo não tão elevado quanto ao guincho hidráulico. A velocidade e a força de arrasto gerada pelo guincho mecânico varia conforme a marcha que o Jeep está engrenado, pois a tomada de força do guincho funciona acoplado atrás da caixa de mudança/transmissão múltipla do Jeep, o seu acoplamento é através de um mecanismo de acionamento do tipo eixo/cubo estriado.

### 1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver o projeto de um guincho mecânico veicular, capaz de rebocar o mesmo ou outro veículo, em regiões de difícil acesso. Especificamente elencam-se os seguintes objetivos:

- Compreender o funcionamento da caixa de mudanças e da caixa de transmissão múltipla do Jeep Willys Universal;
- Obter e definir dados de entrada para o projeto, como torque do redutor, força de arrasto, dimensões e métodos de fixação, esforços atuantes sobre todo o sistema, dimensões da cinta de elevação e entre outros dados.
- Definir com base em pesquisa de mercado o conceito e os parâmetros para o equipamento, respeitando também normas e patentes;

- Escolher e dimensionar os componentes mecânicos que irão compor o guincho, com base nos cálculos realizados e nos dados dos fabricantes para utilização no projeto.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Para conhecer todos os componentes do guincho mecânico e quais as suas principais aplicações, foi utilizado dados do fabricante de guincho (EKRON, 2017). Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, está representada de forma simplificada todos os componentes do guincho mecânico.

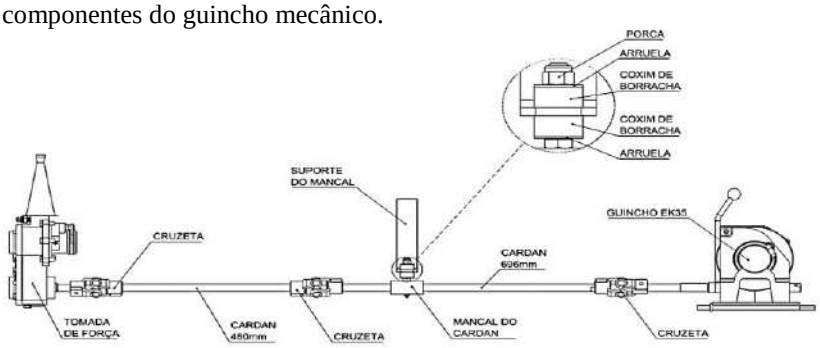



Figura 1. Guincho Mecânico EK35M.

As restrições que o guincho mecânico possui, são: o mesmo necessita que o veículo esteja com o motor em funcionamento para ser utilizado, seu preço é mais elevado comparado com o Guincho elétrico, é necessário mais adaptações para realizar a sua instalação, possui uma utilização mais complicada, depende de mais de uma pessoa para o seu acionamento, e não possuem muitas peças e marcas para reposição de componentes que eventualmente possam vir a estragar. Mas esse modelo de guincho possui vantagens significativas, como: poder puxar vários veículos em sequência sem ocorrer aquecimento, apresenta maior resistência e eficiência, utiliza o torque do motor para o seu funcionamento, e não depende da bateria para funcionar.

O sistema do guincho mecânico é composto de uma tomada de força, a qual é acoplada na parte traseira da caixa de mudança/transferência múltipla do veículo instalado. A Willys-Overland, oferece um livro da mecânica do seu veículo, conhecido como Manual do Mecânico Willys (WILLYS-OVERLAND, 1964), esse material foi utilizado para apresentar as caracteristicas das caixas de mudança e transmissão multipla do Jeep universal. A caixa de mudança possui 3 velocidades para frente e uma para trás, a ré. Ela disponibiliza de sincronizadores na 2ª e 3ª velocidades, o seu sistema de lubrificação tem capacidade 0,7 litros de óleo mineral puro com viscosidade SAE 90. A caixa de transmissão múltipla possui 2 velocidades, velocidade alta (normal) e baixa (reduzida), com o sistema de marcha reduzida acionada, ela possibilita alcançar o torque máximo em baixas velocidades, permitindo percorrer trajetos de pouca aderência com maior facilidade e segurança, durante o seu uso os freios deixam de ser tão exigidos, pois com o aumento do torque resulta em um bom freio motor, dessa maneira diminui o uso dos freios e do sistema de embreagem.

Na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**, está descrita a relação de transmissão da caixa de transferência múltipla e da caixa de mudança.

Tabela 1 – Relação de transmissão da caixa de mudança e da caixa de transferência múltipla do Jeep Willys.

| Caixa de Mudança | | Caixa de transferência múltipla | |
|---|---|---|---|
| Relação de Transmissão | | Relação de Transmissão | |
| 1ª Velocidade | 2,798:1 | Alta (normal) | 1:1 |
| 2ª Velocidade | 1,551:1 | | |
| 3ª Velocidade | 1:1 | Baixa (Reduzida) | 2,46:1 |
| Ré | 3,798:1 | | |

O desenvolvimento do conceito guincho foi realizado utilizando as três primeiras seções da metodologia proposta pelos autores Pahl et al. (2005), composta pelas fases de planejamento do projeto, especificação do conceito e o projeto técnico. No Esclarecimento da tarefa (fase de planejamento) foram descritas as exigências e restrições do projeto, utilizando como auxilio uma lista de requisitos. No Projeto Conceitual, o mesmo abrange a explicação de quais mecanismos foram utilizados e o significado das suas escolhas. E para finalizar, no Anteprojeto foi realizado o dimensionamento dos componentes do guincho e apresentado o desenho final do mesmo.

## 2.1 Esclarecimento da Tarefa

A finalidade desse equipamento aqui proposto é realizar a remoção do veículo de um determinado obstáculo, quando o mesmo estiver impossibilitado de se mover, atolado. O problema técnico que foi complicado de se resolver é o espaço disponível embaixo do Jeep para realizar a instalação de todo o mecanismo que compõem o guincho, pois os mecanismos do mesmo ficaram trabalhando de forma justa e a cinta deve ter uma guia até o para-choque frontal do veículo.

O equipamento aqui desenvolvido deve apresentar fácil manuseio, baixo custo de manutenção, grande força de arrasto, boa resistência mecânica e aspecto de um equipamento robusto com um excelente desempenho. Neste sentido, considera-se importante que o equipamento não seja suscetível a falhas em fadiga, não possua risco de acidentes e não deve ter uma manutenção complicada. A lista de requisitos está seguindo a proposta de Pahl et al. (2005), em que as características do produto são escolhidas, analisadas e classificados em duas categorias: desejado, que é representada pela letra D ou exigido, que é representado pela letra E. A lista de requisitos pode ser observada a seguir, no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

Quadro 1 – Lista de requisitos

| **Lista de Requisitos** | | | **Ver.: 00** |
|---|---|---|---|
| **Data:14/04/2019** | **Projeto: Guincho mecânico para o Jeep Willys** | | **Pag.:1/1** |
| **Linha Mestra** | **E/ D** | **Requisitos** | **Responsável** |
| Principais características | E<br>E<br><br>E<br><br><br>D<br>D | **1. Mecanismos que compõem o sistema do guincho:**<br>- Tomada de força; - Cardan de transmissão; - Redutor série GS; - Tambor; - Cinta de carga; - Mancais de rolamento com graxeira; - Chapa de fixação; - Parafusos de fixação;<br>**2. Características de funcionamento:**<br>- Acionamento Manual da tomada de força; - Desenrolamento da cinta de forma mecânica ou manual.<br>**3. Característica do produto:**<br>- Apresentar um mecanismo compacto e de elevada resistência mecânica;<br>- Apresentar um fácil manuseio. | Bernardo |
| Geometria | D<br>D<br>E | **1. Dimensão disponível para instalação do mecanismo:**<br>- Largura: até 380 mm; - Comprimento: até 280 mm; - Altura: até 300 mm;<br>**2. Comprimento da cinta:** 10 m.<br>**3. Diâmetro do centro do tambor:** 50 mm | Bernardo |
| Cinemática | E<br>D<br>D | **1. Deslocamento da cinta**:<br>- Horizontal e Radial (em torno do tambor do guincho);<br>**2. Velocidade máxima da cinta:** 0,1 m/s;<br>**3. Rotação máxima do tambor:** 39 rpm. | Bernardo |
| Forças | E<br>D<br>E | - Direção da força: horizontal;<br>- Carga de arrasto: no mínimo 1720 kg;<br>- Força de reação nos apoios. | Bernardo |
| Energia | E | - Mecânica, originada do motor. | Bernardo |
| Segurança | E<br>D | **1. Luz indicando que guincho está acionado;**<br>**2. EPIs para o manuseio:** - Luvas e Óculos de proteção. | Bernardo |
| Montagem | E<br>D<br>E<br>E<br>E | - Instalação da tomada de força atrás da caixa de transferência múltipla;<br>- Guincho irá instalado em baixo do Jeep;<br>- Cinta passará até o para-choque frontal do veículo, por baixo do Jeep através de um guia;<br>- Solda da chapa onde irá o redutor e os mancais de rolamentos para realizar a fixação do mecanismo;<br>- Parafusos de fixação do redutor; | Bernardo |
| Operação | E<br>E<br>E | - Engate do guincho-transmissão via alavanca dentro do Jeep;<br>- Soltar a cinta do guincho através da marcha ré do Jeep;<br>- Para puxar o Jeep utilizar a primeira marcha da caixa de transmissão, a qual proporciona o maior torque ao mesmo. | Bernardo |
| Manutenção | D<br>D | - Intervalo entre revisões: 6 meses ou 10 trilhas;<br>- Lubrificar os mancais, as cruzetas do eixo cardan e verificar a cinta a cada trilha que o guincho for utilizado; - Troca: obrigatório a troca anualmente do óleo do Redutor; | Bernardo |
| Custos | D | - Preço acessível. | Bernardo |

## 2.2 Projeto conceitual

Nesse tópico foram desenvolvidas as escolhas e descritos os componentes dimensionados para compor o sistema do guincho mecânico, para que seja analisado os esforços atuantes sobre alguns dos mecanismos do guincho, foram escolhidos alguns componentes já existentes no mercado para realizar a construção de um protótipo após o dimensionamento de todos os componentes do guincho mecânico estarem concluídos.

O guincho mecânico projetado, tem como intuito ser um guincho mais eficiente, onde o mesmo se encontra localizado embaixo do Jeep, para que não fique exposto ao operador. A localização do sistema do guincho pode ser observada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, nessa posição fica localizado o mecanismo do guincho mecânico que é composto pelo tambor do guincho, o redutor, e os mancais de apoio. Para parte frontal do veículo irá passar a cinta através

de um guia, onde a ponta da cinta de carga se encontra localizada no para-choque frontal do veículo. Para determinar qual o melhor caminho para a passagem da cinta até o para-choque frontal, será desenvolvido uma análise do melhor posicionamento da guia.

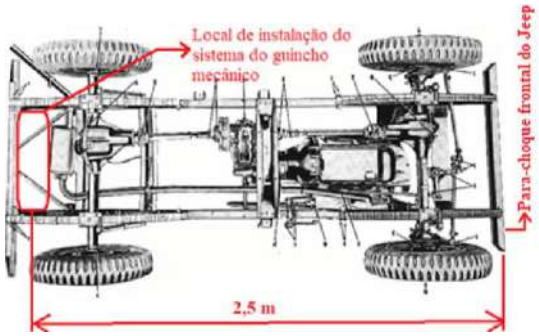



Figura 2. Localização do guincho no Jeep.

O guincho mecânico utiliza o torque do motor para movimentar o tambor do guincho, sendo que o torque fornecido para realizar o arrasto do veículo é variável, pois o redutor do guincho é ligado por um mecanismo cardan a tomada de força, a qual está acoplada na caixa de transferência do Jeep, então o guincho funciona com as velocidades das marchas engrenadas, sendo que o torque vai variar conforme a marcha que tiver engatada e a rotação do motor.

Devido ao projeto ser a partir de um veículo de fabricação antiga e com várias peças de reposições, foi utilizado para o projeto a tomada de força original do Jeep Willys, onde a mesma é composta por um eixo e um cubo estriado. O acionamento de todo o sistema do guincho é através da tomada de força, a qual é responsável por realizar a transmissão da força do motor para o guincho mecânico, e possui uma alavanca responsável pelo seu acionamento. Essa alavanca se encontra dentro do Jeep, como a tomada de força vai acoplada atrás da caixa de transferência do Jeep, a alavanca ficará localizada perto ao motorista do veículo, o qual é o operador do guincho.

Para ligar a tomada de força ao Redutor da série GS da Geremias redutores, é utilizado um sistema de transmissão por eixo cardan, o qual permite transmitir força a outro mecanismo, mesmo que estes estejam desalinhados, pois a cruzeta é um componente que permite a articulação do cardan. Foi escolhido a série de redutores GS da Geremias redutores, devido a esta série de redutores apresentar um conjunto de engrenamento sem fim e suportar aos esforços solicitantes. Um redutor de engrenagens sem-fim, vai ser utilizado devido ao engrenamento entre um sem-fim e uma engrenagem sem-fim (coroa) conectar-se entre eixos não paralelos, sem intersecção, e por geralmente apresentarem um ângulo de 90° no engrenamento, com essas características auxilia na solução de um problema, onde tem que transmitir o movimento longitudinal da caixa de mudanças em um movimento transversal para o tambor do guincho.

Para realizar o apoio do tambor foi utilizado dois mancais de rolamento, um de cada lado do tambor, para ter uma melhor distribuição das forças e uma maior rigidez do sistema. Foi optado pelos dois mancais, para que os esforços do tambor não atuem no rolamento da saída do redutor, pois pode realizar a quebra e desgaste prematuro do mesmo. O mancal de rolamento que foi escolhido, é o modelo que possui graxeira, devido ao guincho ficar localizado embaixo do Jeep e ficar exposto ao barro, poeira e água, com intuito de manter o sistema de mancal de rolamento lubrificado.

Na fixação do Redutor e dos mancais que suporta o tambor, foi utilizado uma chapa de aço SAE 1020, onde a mesma irá soldada no chassi do Jeep. Para realizar a solda é utilizado um eletrodo 90D2, o qual é um eletrodo aconselhável para ser utilizado nesse tipo de fixação. Foi dimensionado o meio do tambor do guincho com ranhuras internas, para que ele seja engrenado sob o eixo de transmissão do redutor. Como um dos objetivos do trabalho é que o guincho mecânico seja de fácil manutenção, esse mecanismo é dimensionado para que facilite a manutenção e desmontagem, sem ocorrer riscos de comprometer o seu funcionamento.

Foi escolhido a cinta de elevação para ser utilizado no projeto do guincho mecânico, pois ela apresenta uma maior resistência comparada com os cabos de aço, correntes e os outros modelos de cintas. Além disso, a cinta apresenta um melhor enrolamento em tambores de pequenos diâmetros, não enferruja com o passar do tempo e não é necessário atender um ângulo de desvio para realizar o seu enrolamento. As cintas de elevação são extremamente flexíveis e leves, são ideais para içamento de cargas de material delicado (TENOTEXTIL, 2014). A cinta de amarração apresenta uma resistência a produtos ácidos, impossibilitando acidentes como propagação de incêndio, ela possui características de fibras têxteis, na qual proporciona imunidade a degradação natural (POLIFITEMA, 2016). Para selecionar a cinta para determinada aplicação, é necessário entrar com as especificações de massa, comprimento e largura desejada da cinta no catálogo do fabricante escolhido. Após entrar com esses dados é só escolher qual o melhor modelo que se adequa as características citadas e selecionar a cinta que suporte a capacidade de carga requerida.

### 2.3 Anteprojeto

Nesse tópico serão apresentados os cálculos e os desenhos das peças que foram desenvolvidas, as quais compõem o sistema do guincho mecânico.

O redutor utilizado para aplicação é da série GS, para realizar a escolha do redutor é necessário saber o torque aplicado e a relação de transmissão que é necessária para atender os requisitos do guincho. Segundo o fornecedor, conforme a aplicação do redutor, deve-se utilizar um fator de segurança de 1,15 na carga do guincho. Para chegar no redutor adequado a essa aplicação, foi necessário desenvolver e delimitar algumas variáveis, como: velocidade da cinta, velocidade angular do tambor, rotação do tambor, diâmetro do tambor, relação de transmissão necessária para o redutor e a capacidade de carga que o guincho vai arrastar.

Na equação a seguir as variáveis *Fa* e *PJ* significam, respectivamente, força de arrasto e massa nominal do Jeep.

$$Fa = g * PJ * F_S \rightarrow Fa = 9{,}81\,\frac{m}{s^2} * 1720\ kg * 1{,}15 \rightarrow Fa = 19.404{,}18\ N$$

onde, g é a gravidade da terra (9,81 m/s²). Para calcular o torque do redutor ($T$), é utilizado a seguinte formula:

$$T = Fa * r \tag{1}$$

onde, $Fa$ é a força de arrasto do guincho em N e r o raio do tambor em m. É calculado dessa maneira o torque, pois a força de arrasto aplicada no guincho age na extremidade do tambor, aonde a cinta estará presa. A análise da força de arrasto atuante no tambor pode ser feita na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

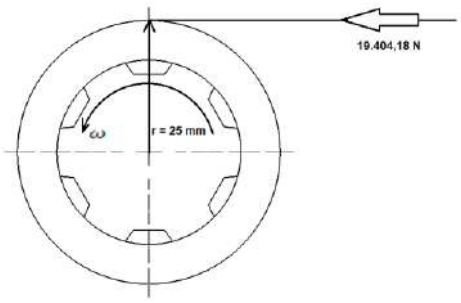



Figura 3. Diagrama de corpo livre da Força aplicada no tambor do guincho.

Com isso pode ser calculado o torque aplicado no eixo do tambor:

$$T = Fa * r \rightarrow T = 19.404{,}18\ N * 0{,}025\ m \rightarrow T = 485{,}1045\ Nm$$

Outro dado importante para a escolha do redutor é a relação de transmissão que o mesmo deve proporcionar, para encontrá-la é necessário ser feita a seguinte consideração: será definido que o guincho trabalha com uma velocidade de recolhimento da cinta de 0,1 m/s, enquanto o Jeep estiver engrenado na primeira marcha com a rotação no motor de 3.000 rpm. Com isso pode-se obter a rotação da saída da caixa de mudança do Jeep, que será a mesma rotação da entrada do redutor. Sabendo que a relação de transmissão da primeira marcha do Jeep é 2,798:1, obtém-se a seguinte rotação na entrada do redutor:

$$i = \frac{n_{motor}}{n_e} \rightarrow n_e = \frac{n_{motor}}{i} \rightarrow n_e = \frac{3000\ rpm}{2{,}798} \quad n_e \cong 1.072\ rpm$$

Sabendo a rotação na entrada do redutor ($n_e$), é necessário calcular a rotação na saída do redutor, para determinar a relação de transmissão necessária do mesmo. É possível calcular através da velocidade da cinta, a rotação do eixo do tambor, que é a mesma rotação do eixo de saída do redutor. A rotação do tambor pode ser obtida através da equação da velocidade da cinta, a qual está demonstrada a seguir:

$$V = \omega * r \tag{2}$$

onde, $\omega$ é a velocidade angular do tambor e $r$ o raio do tambor. Com isso é possível calcular a velocidade angular do tambor:

$$V = \omega * r \rightarrow \omega = \frac{V}{r} \rightarrow \omega = \frac{0{,}1\ m/s}{0{,}025\ m} \rightarrow \omega = 4\ rad/s$$

Calculando a velocidade angular do tambor, é possível através da seguinte equação obter a rotação do tambor.

$$n = \frac{60}{2\pi} * \omega \tag{3}$$

Então a rotação da saída ($n_s$) do redutor é:

$$n_s = \frac{60}{2\pi} * \omega \rightarrow n_s = \frac{60}{2\pi} * 4\ rad/s \rightarrow n_s \cong 39\ rpm$$

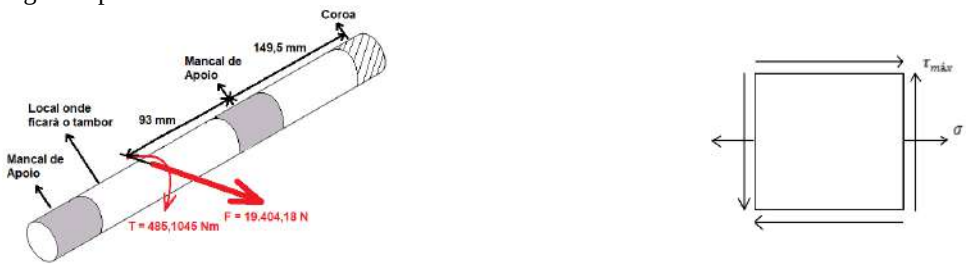
Com a rotação de entrada ($n_e$) e saída ($n_s$) do redutor pode-se calcular a relação de transmissão necessária para o redutor:

$$i = \frac{n_{entrada\ do\ redutor}}{n_{saida\ do\ redutor}} \rightarrow i = \frac{1.072\ \text{rpm}}{39\ \text{rpm}} \rightarrow i \cong 27{,}5$$

Após obter a relação de transmissão necessária e o torque de saída do redutor, o qual é um torque máximo sobre o redutor, é possível com esses dados escolher qual o modelo do redutor para essa aplicação. Com no catálogo da Geremias redutores foi possível selecionar o redutor, e o modelo escolhido foi o GS95 de relação de transmissão 30:1 que suporta um torque equivalente ao calculado, possuindo um eixo de diâmetro de 28 mm na entrada e 40 mm na saída do redutor.

Para realizar o dimensionamento do eixo do tambor foi analisado as tensões multiaxiais empregadas ao mesmo. As tensões multiaxiais são a combinação de um momento fletor e um torque aplicado no eixo de rotação. Como citado anteriormente, o torque transmitido é em torno de 485,1045 Nm, para o sistema não necessitar de peças de acoplamento, foi dimensionado um eixo direto da coroa sem fim, saída do redutor, onde nele se encontra conectado os mancais de rolamento e o tambor do guincho. O material utilizado para fabricação do eixo foi o aço SAE 8640, o qual possui uma tensão de escoamento ($S_y$) de 715 Mpa, um modulo de elasticidade (E) que varia de 190 a 210 GPa e limite de ruptura ($S_{ut}$) de 850 Mpa (FAVORITE, 2019). Para o dimensionamento do eixo, foi selecionado o critério de falha por Von Mises e posteriormente para o cálculo das estrias, escolhida a teoria de Norton (2013).

Para começar o dimensionamento, foi considerado um eixo maciço com o intuito de encontrar o diâmetro mínimo que o eixo deve possuir para suportar o momento fletor e o torque aplicado no mesmo. Na Figura 4 (a) pode ser analisado o eixo inicial sugerido para realizar o dimensionamento.




a) Eixo inicial para o dimensionamento. b) Elemento de Tensão

Figura 4. Eixo inicial para o dimensionamento.

Para fazer a análise inicial é necessário realizar o cálculo da tensão fletora e tensão de torção máxima, as quais podem ser calculadas através das seguintes equações, respectivamente:

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad ; \quad \tau_{máx} = \frac{T * c}{J}$$

onde, o M é o momento fletor que a força exerce até o ponto de apoio, I é momento de inercia do eixo, $\sigma$ é a tensão fletora, $\tau_{máx}$ é a tensão de torção máxima no eixo, $T$ é o torque interno resultante, $J$ é o momento polar de inércia da área da seção transversal e $c$ é o raio externo do eixo. Devido a não possuir o diâmetro do eixo inicial para realizar os cálculos, foi encontrado um valor de tensão em função do diâmetro do eixo, da seguinte maneira:

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \rightarrow \sigma = \frac{(19.404{,}18N * 93mm) * d/2}{\frac{\pi * d^4}{64}} \rightarrow \sigma = \frac{18.381.389{,}97\ Nmm}{d^3}$$

$$\tau_{máx} = \frac{T * c}{J} \rightarrow \quad \tau_{máx} = \frac{485.104{,}5\ Nmm * \ d/2}{\frac{\pi * d^4}{32}} \rightarrow \quad \tau_{máx} = \frac{2.470.616{,}931\ Nmm}{d^3}$$

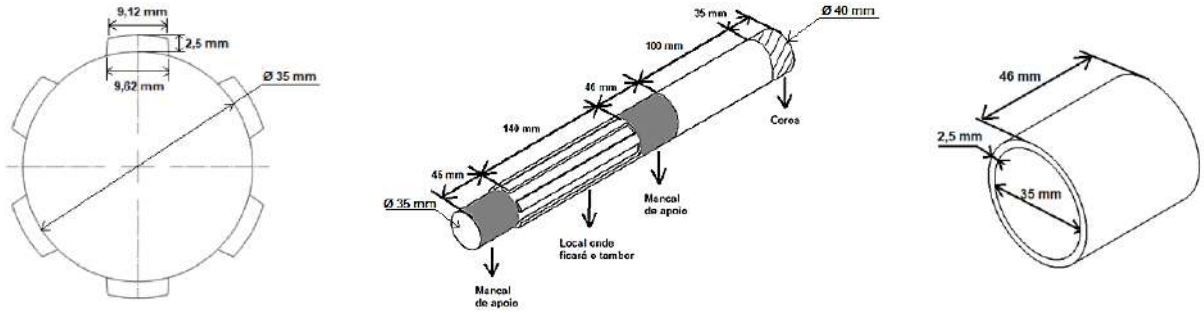
O passo posterior aos calculos já apresentados, é analisar o Elemento de Tensão, o qual pode ser observado na Figura 4 (b). Com a análise do elemento de tensão, é possivel realizar o cálculo do coeficiente de segurança por Von Misses. Para o cálculo do coeficiente de segurança por Von Mises (TED), usa-se a seguinte equação:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \rightarrow onde: \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$$

Considerando o coeficiente de segurança ($n$) igual a 1, para descobrir o diâmetro mínimo que o eixo vai suportar, chega-se a seguinte resolução:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \rightarrow \ 1 = \frac{715\ MPa}{\sqrt{\left(\frac{18.381.389{,}97\ Nmm}{d^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{2.470.616{,}931\ Nmm}{d^3}\right)^2}} \qquad d = 29{,}77449468\ mm$$

Para a segurança do projeto, é admitido um diâmetro de eixo mínimo de 35 mm, o qual resulta em um coeficiente de segurança igual a 1,6, e sobre esse diâmetro mínimo será dimensionado as estrias para realizar o encaixe do tambor. Para realizar o dimensionamento das estrias foi utilizado a teoria do Norton (2013), nela não especifíca as dimensões das ranhuras a serem construidas. Confome pesquisas realizadas sobre eixos fabricados e processos de fabricação, foram definido as seguintes dimensões das estrias conforme a Figura 5 (a). A Figura 5 demonstra o eixo que foi fabricado, onde na Figura 5 (b) demostra uma vista isometrica do eixo dimensionado, que mostra a posição de alguns componentes que irão acoplados no eixo.




a) Eixo do tambor/redutor vista frontal b) Eixo do tambor/redutor finalizado c) Bucha do eixo do tambor.

Figura 5. Eixo para construção das ranhuras.

Conforme Norton (2013), utiliza-se a equação a seguir para realizar o cálculo do comprimento das estrias, com isso é necessário definir as variáveis da equação, onde: $d_i = 0$ pois não é um eixo vazado, $d_r = \ 35\ mm$ e $d_p = 37{,}5\ mm$. Após as variáveis serem definidas pode ser observado a seguir, a resolução da equação:

$$l \cong \frac{{d_r}^3 * \left(1 - \frac{{d_i}^4}{{d_r}^4}\right)}{{d_p}^2} \rightarrow \ l \cong \frac{35^3 * \left(1 - \frac{0^4}{35^4}\right)}{37{,}5^2} \rightarrow l \cong \ 30{,}49\ mm$$

Com o comprimento do eixo estriado dimensionado, foi definido por segurança, usar no projeto das estrias um comprimento de $2l$, ou seja, foi projetado o tambor do guincho com estrias de comprimento $l$ em cada extremidade do tambor. Para que o tambor possa encaixar no eixo que está sendo dimensionado, é necessário ser feito estrias no eixo do comprimento do tambor inteiro, ou seja, as estrias no eixo terá um comprimento de 140mm, mas o que realmente esta em contato é *2l* (aproximadamente 61mm). A definição citada acima, está melhor ilustrada na Figura 5 (b). Definido isso é possível calcular a tensão de cisalhamento nas estrias através da equação a seguir fornecida por Norton (2013), considerando o comprimento em contato de *2l*. A resolução está representada a seguir:

$$\tau \cong \frac{16\,T}{\pi * {d_p}^2 * l} \rightarrow \tau \cong \frac{16 * 485.104{,}5\ Nm}{\pi * (37{,}5mm)^2 * (2 * 30{,}49\ mm)} \rightarrow \tau \cong 28{,}812\ \text{Mpa}$$

Com base na tensão de flexão e na tensão de cisalhamento calculada nas estrias, é possível analisar o elemento de tensão nas estrias (igual a Figura 4 (b)), para realizar o cálculo do coeficiente de segurança por Von Mises.

Para fins de calculos, é considerado o elemento de tensão no ponto do $d_p$, para a tensão de cisalhamento na estria estar localizada na mesma posição da tensão de flexão do eixo. Com isso obtem-se o coeficiente de segurança por Von Mises, da seguinte maneira:

$$\sigma = \frac{18.381.389{,}97\ Nmm}{d^3} \rightarrow \sigma = \frac{18.381.389{,}97\ Nmm}{(37{,}5mm)^3} \rightarrow \sigma = 348{,}5656172\ MPa$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \rightarrow onde: \sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$$

$$n = \frac{715\ MPa}{\sqrt{(348{,}5656172\ Mpa)^2 + 3 * (28{,}812\ MPa)^2}} \rightarrow n = 2{,}030558876$$

Com base nos cálculos realizados afirma-se que o eixo projetado possui um coeficiente de segurança igual a 2, tendo uma margem de segurança se ocorrer alguma sobrecarga. Na Figura 5 (b), pode ser observado o eixo que foi desenvolvido para acomodar a coroa, os mancais de rolamento e o tambor do guincho, com as suas respectivas dimensões.

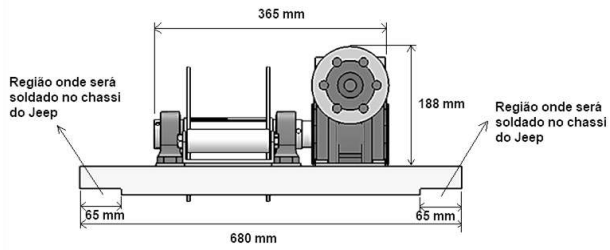
Após o eixo ser fabricado, foi escolhido os mancais de rolamento com graxeira de 40 mm de diâmetro interno e 46 mm de largura. Devido ao diâmetro da ponta do eixo possuir 35 mm para que o tambor com as estrias internas possa ser posicionado em seu devido lugar, foi feito uma bucha de encaixe de aço SAE 8640 para colocar o mancal na ponta do eixo, a qual pode ser vista na Figura 5 (c). O Eixo deve possuir esse formato, para ser possível realizar a montagem e desmontagem do guincho, podendo entrar e sair o tambor e os mancais quando necessário.

Conforme a lista de requisitos, a cinta que foi escolhida (Figura 6) tem capacidade de até 10 TON de arrasto, comprimento de 10 m, largura de 100 mm. A cinta de elevação que foi utilizado no projeto é do modelo sling 7:1 da Robustec (2018), pois apresenta um menor custo e uma melhor qualidade de acabamento. Foi escolhido esse modelo de cinta devido a apresentar o comprimento exigido para o projeto, por consequência a cinta apresenta a característica de ser mais resistente, com isso, irá trazer ao operador uma maior segurança durante a utilização do guincho.

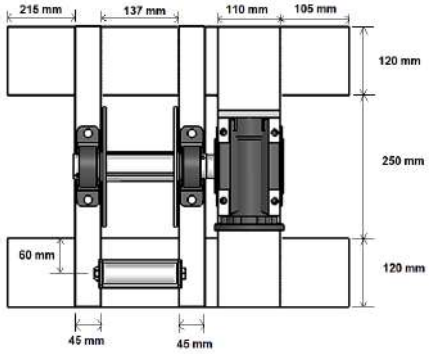


Figura 6. Cinta sling 7:1 Dupla 100 mm 10 Ton x 10 m.

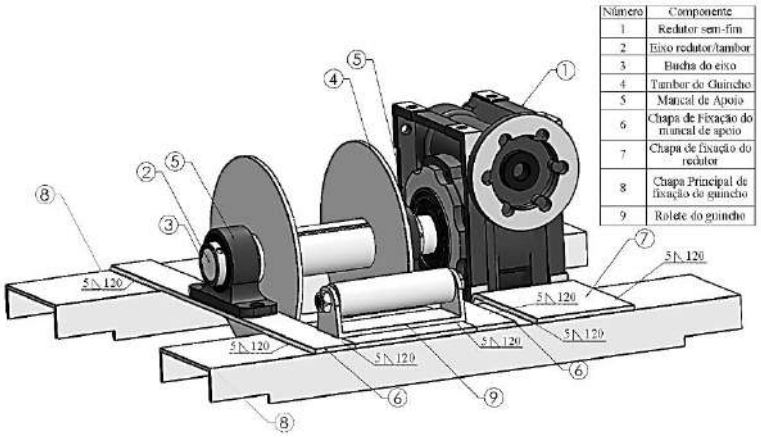
Com os componentes dimensionados, a Figura 7 demonstra o desenho representativo da montagem do sistema do guincho que se encontra instalado embaixo do Jeep, com o intuito de auxiliar ao entendido de onde estão localizados os componentes do guincho. Esse sistema pode ser necessário sofrer algumas alterações conforme for sendo dimensionado os seus componentes.




a) Vista Frontal do Guincho.




b) Vista superior do guincho.




c) Vista 3D do guincho.

Figura 7. Montagem Final do Guincho.

## 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Com o decorrer do trabalho, após ser realizado determinados estudos, foi possível obter algumas considerações sobre os componentes que irão compor o guincho. Nesse tópico está relatado alguns dos resultados sobre o projeto que foi desenvolvido.

No trabalho atual, conclui-se que o guincho é um mecanismo importante em passeios off-road, com isso é fundamental de ter uma confiança no mecanismo que está instalado em seu veículo, podendo retirá-lo de qualquer obstáculo. Com os dados calculados é possível perceber que o eixo que foi dimensionado usando o aço SAE 8640 vai atender as condições de trabalho que o mesmo estará disposto. Usualmente é utilizado chaveta, mas devido a tornar um mecanismo de fácil manutenção, pensando no caso de ter que desmontar o mesmo, foi dimensionado as ranhuras do centro do tambor/eixo onde a mesma distribui melhor o torque empregado no eixo.

Após a análise do comportamento de um cabo de aço, chegou-se à conclusão que tecnicamente seria de difícil aplicação para o projeto, devido a algumas restrições que não se encaixavam na utilização do mesmo. Usualmente conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra, os guinchos são utilizados no para-choque frontal do veículo, onde nesta posição o mesmo possibilita que um dos operadores guie o cabo para ajustar o seu enrolamento no tambor. O cabo de aço para ser enrolado no tambor sem deixar vão livres deve atender um ângulo de desvio de 1°30’ para tambores lisos, e como todo o sistema do guincho se encontrará localizado embaixo do Jeep como foi citado no tópico de projeto conceitual, não é possível atender essa exigência, com isso se fosse utilizado cabo o enrolamento no tambor ficaria de forma desorganizada, prejudicando a vida útil do mesmo.

Outro problema devido à localização do guincho para utilizar o cabo, é o diâmetro do tambor necessário para que não ocorra deformação na estrutura do cabo de aço. Conforme foi analisado para puxar o peso do jeep seria necessário um cabo de 3/8” (9,52mm), o diâmetro aconselhável para o centro do tambor seria em cerca de 370 mm. Devido ao espaço, não era possível atender essa exigência, se fosse utilizado um diâmetro de tambor menor que o aconselhável iria reduzir a vida útil do cabo. A utilização de cabo de aço nesta aplicação envolve riscos, pois este fica exposto a água e sujeiras, e com isso seus arames vão fraturando, torcendo e oxidando, resultando na perda das suas propriedades e diminuição da sua carga de ruptura.

Como citado na metodologia, foi selecionada uma cinta de elevação de carga no guincho mecânico, devido ao projeto do guincho ser diferenciado dos outros que estão no mercado, onde o mesmo se encontra localizado embaixo do Jeep, é necessário utilizar um componente flexível e resistente para atender a localização onde foi instalado o guincho. Os dois principais motivos da cinta de elevação estar sendo utilizada, é que para realizar o seu enrolamento não precisa atender um ângulo de desvio como cabo de aço, e ela é flexível e compacta, sendo assim possível enrola-la em guincho de pequenos diâmetros de tambor. Outro motivo para escolha da cinta é que será necessário utilizar uma guia para levar a cinta até o para-choque frontal do veículo, e se fosse utilizado um cabo de aço, o mesmo iria ter um atrito maior sobre essa guia, com isso iria ocasionar um desgaste prematuro do cabo e da guia.

Na Figura 8 pode-se observar uma vista explodida do guincho mecânico projetado, a qual demostra os componentes do guincho desenvolvido.

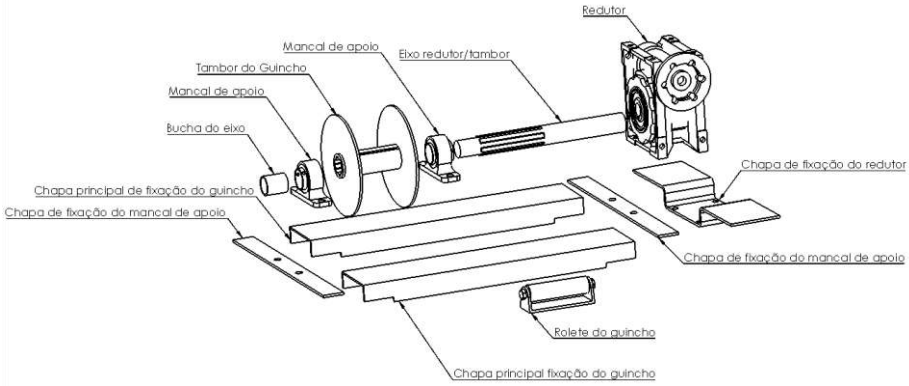



Figura 8. Componentes do guincho Projetado.

## 4 CONCLUSÕES

Esse projeto teve como intuito atender os objetivos específicos propostos inicialmente, através do auxílio da revisão bibliográfica e com o desenvolvimento do projeto, foi apresentada uma prévia de quais os componentes que compõem o guincho e como eles funcionam. Com isso pode-se chegar à conclusão do objetivo geral.

Esse projeto apresentou-se uma proposta inovadora para se utilizar um redutor sem-fim de erguer esteiras transportadoras para um guincho mecânico veicular, esse estudo será oficialmente definido quando o protótipo sugerido ficar pronto e com isso será possível realizar os testes necessários e otimizações sobre o projeto. Devido a disponibilidade de recursos e tempo, não foi possível concluir o protótipo desse projeto, mas o mesmo está em construção, sendo que alguns componentes do guincho já foram fabricados.

O espaço disponível para realizar o posicionamento do sistema do guincho mecânico é restrito, e com base no desenvolvimento, observa-se que o projeto atendeu o objetivo de um mecanismo com uma excelente resistência sendo o mais compacto possível. Para cumprir esse requisito, foi realizado a análise das forças empregadas no sistema do guincho mecânico, com isso, possibilitou ter um melhor conhecimento sobre os mecanismos para se utilizar materiais e componentes com formas mais adequadas ao projeto.

Com base nos cálculos realizados no desenvolvimento, observa-se que foram obedecidos os requisitos propostos no Quadro 1, os quais auxiliaram em realizar a escolha de vários componentes do guincho. Todos os componentes dimensionados do guincho, seguiram como principais características apresentar uma elevada resistência mecânica e um fácil manuseio, onde esses mesmos foram atendidos devido a utilizar materiais com uma melhor resistência e componentes com formatos adequados para auxiliar a montagem. Como exemplo, pode-se citar, o tambor do guincho com as suas estrias internas, as quais facilitam a montagem e apresentam uma resistência mais elevada do que um eixo chavetado.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

FAVORITE. Aços de Construção Mecânica - Aço SAE 8640. **Fsvorite Aços Especiais**, 2019. Disponivel em: <http:// www.favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos_para_construcao_mecanica_2.html>.Acesso em: 07 maio 2019.
MILLIGAN, C. The Jeep: From Historic Roots to American Icon, 2009. p.87.
NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas:** uma abordagem integrada. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**. 5ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 411 p. ISBN 9788521203636.
POLIFITEMA. CInta de amarração/ Cinta para carga/ Cinta de amarração. **Polifitema - movimentação de carga**, 2016. Disponivel em: <http://www.polifitema.com.br/fabricante-cinta-amarracao-carga/>. Acesso em: 29 out. 2018.
ROBUSTEC. Cinta de Elevação de Carga. **Robustec**, 2018. Disponivel em: <https://www.robustec.ind.br/ categoria/amarracao-de-cargas/cintas-de amarracao/>. Acesso em: 2019 abr. 15.
TENOTEXTIL. Cintas de elevação. **Tecnotextil - cintas de poliester e acessórios para elevaçao e amarração de cargas**, 2014. Disponivel em: <https://www.tecnotextil.com.br/produtos/>. Acesso em: 29 out. 2018.
WILLYS-OVERLAND. **MMW-01 Manual do Mecânico Willys**. São Bernardo do Campo, São Paulo: Willys-Overland Brasil, 1964.

## 6 NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UM AUXILIAR DE MARCHA PARA CRIANÇAS COM DIFICULDADES LOCOMOTIVAS

**Bruno Pozer**
**Guilherme Reschke do Nascimento**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
142205@upf.br; guilhermenascimento@upf.br; mwalber@upf.br;

***Resumo.*** *O maior desafio das crianças com dificuldades físicas não está em aprimorar conhecimentos, mas sim na capacidade de locomoção. Com o objetivo de melhorar a vida dessas pessoas, a tecnologia assistiva desenvolve equipamentos que promovam a movimentação e estimulem a coordenação motora da marcha. Estes dispositivos estão tendo cada vez mais espaço no mercado, propondo um melhor funcionamento dos membros e estímulo do movimento. Este estudo foi realizado com o intuito de projetar um equipamento de baixo custo que promova acessibilidade para crianças se locomoverem. Trata-se do projeto de um andador, fazendo uso da metodologia de projeto de Pahl et al. (2005), contendo todas etapas de criação de produto e informações necessárias para fabricação, com base nas normas de segurança e diretrizes de projeto. O conceito inicial para o equipamento é acomodar uma criança de forma ergonômica, com apoios de antebraço e suporte de quadril, visando a desenvoltura da caminhada. A proposta abordada deverá suprir as necessidades do ocupante, permitindo o desenvolvimento e/ou correção da marcha na fase de crescimento.*

***Palavras Chave:*** *tecnologia assistiva; andador; locomoção; desenvolvimento de produto.*

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por equipamentos que promovam qualidade de vida e inclusão para pessoas com deficiências é uma procura crescente da sociedade atual. Com isso, surge a necessidade de projetos voltados à tecnologia assistiva, que proporcionem maior autonomia e mobilidade a esta população.

Pesquisas realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), afirmam que no Brasil, mais de 13 milhões de pessoas, possuem algum tipo de limitação motora. Entre as causas mais frequentes estão as doenças incapacitantes, que são o foco deste trabalho.

Conforme Sartoretto e Bersch (2017), tecnologia assistiva é o termo utilizado para determinar todas as formas de recursos ou serviços voltados a ampliação de habilidades funcionais, destinados a pessoas portadoras de deficiência. Esta área de conhecimento abrange uma gama de produtos, métodos e estratégias que visam independência e bem-estar, para os mais diversos casos de insuficiência física ou mental.

Este é um estudo focado em crianças que possuem necessidades de deslocamento, para tornar possível o movimento das pernas e também promover equilíbrio. Trata-se de um mecanismo de ajuda, que serve de apoio para movimentar os membros inferiores e possibilitar a caminhada, por meio de uma estrutura segura, na qual acomoda uma pessoa.

Este trabalho tem como objetivo projetar um auxiliar de marcha que possibilitará a criança fortalecer sua estrutura muscular e o movimento dos membros inferiores, buscando um equipamento de baixo custo e que atenda as diretrizes estabelecidas. Com base nos equipamentos já existentes, bem como a norma regente de andadores e patentes ativas, visando cumprir todas etapas da metodologia, resultando no detalhamento do dispositivo.

Utilizando a metodologia de projeto de Pahl et al. (2005), foi possível apurar uma solução de maior custo benefício, atenta as limitações da norma regente de andadores, oportunizando segurança ao ocupante e confiabilidade aos familiares.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para desenvolver este projeto foram utilizadas literaturas relacionadas ao equipamento, junto de uma pesquisa dos dispositivos existentes, patentes ativas, norma de segurança. Em conjunto com profissionais da fisioterapia foram extraídas informações de ergonomia, para que a criança esteja na postura adequada junto ao auxiliar de marcha.

### 2.1 Norma regulamentadora (ABNT NBR 16311)

Todo projeto mecânico bem-sucedido é realizado com embasamento na norma que especifica os requisitos de segurança para construção do equipamento. Para o caso do dispositivo em questão, a norma técnica é a ABNT NBR 16311 - Andador para criança - Requisitos de segurança e métodos de ensaio (ABNT, 2014), onde estão contidas todas informações e restrições de construção do auxiliar de marcha.

Esta norma é aplicável para andadores infantis, e não para andadores de fins curativos. Porém, muitos conceitos que são apresentados tornam-se proveitosos mesmo se tratando de um projeto de andador terapêutico, já que o foco é possibilitar o movimento da criança, seja ela portadora de dificuldades de locomoção ou não.

A norma está dividida em 8 partes, nas quais se tratam as necessidades de segurança do ocupante, como restrições dos materiais a serem utilizados, cantos e saliências na área do ocupante, raios de dobras admissíveis e ensaios de validação do equipamento.

### 2.2 Ergonomia

O estudo da ergonomia carrega o poder de desvendar uma série de informações ainda pouco exploradas. Entre elas destaca-se a investigação dos precursores dessa ciência, portanto estabelecer que ela seja uma ciência nova conduz a uma afirmação equivocada. A ergonomia e design de produtos vem sendo estudada desde 1949, pela primeira sociedade ergonômica do mundo, a Ergonomic Research Society (SILVA e PASCHOARELLI, 2010).

Os princípios de ergonomia do andador em um projeto de tecnologia assistiva estão centrados no ser humano, propondo maior praticidade, autonomia e adaptação as necessidades individuais (HENKEL, MERINO, et al., 2015).

Conforme orientações de fisioterapeutas da Universidade de Passo Fundo, a postura correta para o caso do auxiliar de marcha é quando o tronco do ocupante permanece na vertical, com o paciente colocado suspenso pelo cinto, em uma altura confortável para apoiar-se no chão e fazer a caminhada. Esses profissionais aconselham que também deve ser levado em conta os apoios das mãos, que devem estar regulados para que o usuário não precise curvar as costas para alcançá-los.

Tendo em vista estes cuidados, o projeto será efetuado conforme as restrições citadas acima, promovendo autonomia, conforto e praticidade ao utilizador.

### 2.3 Metodologia de projeto

Neste trabalho será utilizada como base a metodologia de Pahl et al. (2005), onde estão contidos os conceitos e etapas para realização de projetos de engenharia. A Figura 1 apresenta as fases da metodologia utilizada:

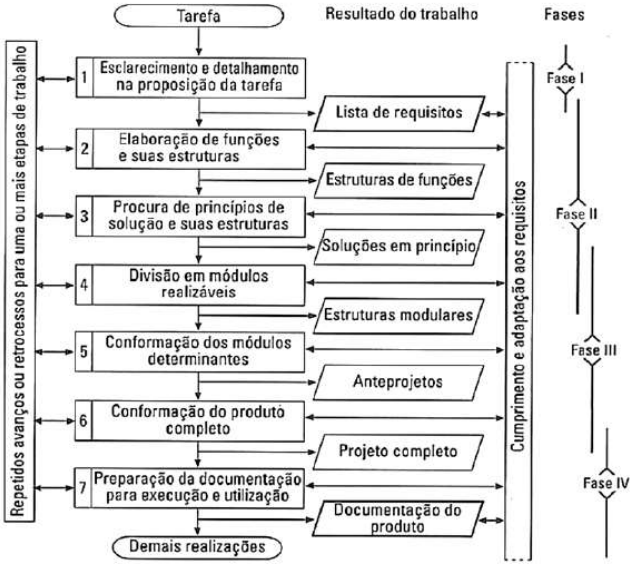


Figura 1 - Etapas da metodologia de projeto
Fonte: Autor, 2019

As quatro principais etapas da metodologia que servirá como base para elaboração do trabalho, podem ser resumidas como: esclarecimento da tarefa, onde se propõe de maneira objetiva apresentar a finalidade do produto, e para isso se elabora uma lista de requisitos. A segunda etapa pode ser chamada de concepção, onde são tratadas as variantes de solução, bem como a solução mais promissora para o equipamento. Em seguida entramos nas etapas de

anteprojeto e detalhamento, onde se aborda o processo de construção, especificando cada ação de forma detalhada, com observância das normas e indicações necessárias para execução do equipamento.

Serão trabalhadas estas etapas, buscando atender a norma vigente e respeitar as patentes ativas, para fazer um produto capaz de auxiliar a locomoção de crianças com necessidades. Também são considerados aspectos relacionados à ergonomia e diretrizes fisioterápicas.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do conceito do auxiliar de marcha foram executadas as duas primeiras etapas da metodologia de Pahl et al. (2005), que possibilitaram a determinação das necessidades reais do equipamento, partindo da lista de requisitos, o desdobramento da função global e a busca de soluções que atendam as limitações do equipamento.

### 3.1 Planejamento do produto

Levando em conta que o dispositivo será utilizado por crianças, foram tomadas algumas medidas de referência para ajudar na concepção do equipamento. A faixa de idade que o equipamento abrange é de até 12 anos, para definições de projeto será considerado um caso extremo com massa de 80kg, e altura ajustável no equipamento conforme a necessidade do ocupante.

Após o esclarecimento da tarefa foi elaborada a lista de requisitos conforme a técnica da linha mestra, onde estão contidas as características que se esperam do produto, e delimitadas as exigências (E) que são condições obrigatórias para o funcionamento, e os desejos (D) que não são essenciais mas devem ser atendidas se possível.

A lista de requisitos está separada por grupos, conforme especifica o método proposto por Pahl et al. (2005), e pode ser vista no Quadro 1.

| Lista de Requisitos - Auxiliar de marcha para crianças | | | |
|---|---|---|---|
| E/D | Requisitos | E/D | Requisitos |
| **1. Geometria** | | **6. Ergonomia** | |
| E | Altura: 90 - 120cm | D | Dispositivo desmontável |
| E | Largura: 60 - 90cm | E | Estrutura de baixo peso |
| E | Comprimento: 60 - 70cm | E | Permitir o ocupante ajustar altura |
| E | Área para o ocupante ≥ 0,4m² | E | Permitir o ocupante ajustar apoios de braço |
| D | Formato piramidal da estrutura | E | Cinto de quadril ajustável em tecido resistente |
| E | Espessura dos tubos ≥ 1,5mm | **7. Montagem** | |
| **2. Cinemática** | | D | Manual de montagem |
| D | Trava direcional de movimento | D | Montagem através de parafusos |
| E | Atrito das rodas(estabilidade) | **8. Produção** | |
| **3. Forças** | | E | Tubos dobrados conforme (ABNT NBR 16311) |
| E | Capacidade do equipamento: 80kg | D | Juntas soldadas |
| E | Resistencia do material ≥ solicitação | D | Juntas parafusadas |
| **4. Material** | | D | Componentes com encaixe para fixadores |
| E | Boa resistência mecânica e a corrosão | D | Capacidade de produção seriada |
| E | Ser leve e não inflamável | **9. Transporte** | |
| D | Revestimentos em plástico | D | Volume cabível em porta-malas |
| D | Pintura epóxi | **10. Manutenção** | |
| E | Tecido sintético de boa resistência | E | Baixa manutenção |
| **5. Segurança** | | D | Peças com possibilidade de substituição |
| E | Cantos e bordas de acordo a ABNT NBR | **11. Custo** | |
| E | Estrutura restrita a tombamento | D | Menor custo possível, sem descumprir a função |

Quadro 1 - Lista de requisitos
Fonte: Autor, 2019

### 3.2 Concepção

Esta segunda etapa da metodologia é o momento de buscar novas soluções e principalmente novas ideias para a concepção do projeto.

A concepção define a solução preliminar do problema, onde é elaborada a estrutura de funções, buscando um princípio de funcionamento, bem como as combinações preliminares, que posteriormente são analisadas e discutidas, para definição da variável mais apropriada, que seja compatível aos requisitos exigidos acima.

A

Figura 2 apresenta as entradas, saídas e a função global encontrada, assim como as subfunções necessárias para o atendimento da função principal:

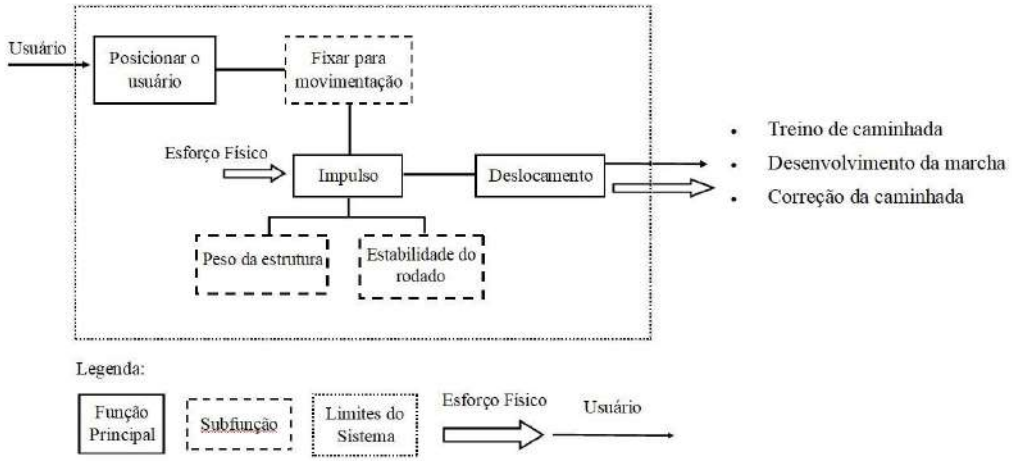



Figura 2 - Função global e subfunções
Fonte: Autor, 2019

### 3.3 Variantes de solução

Com o objetivo de obter diferentes combinações de projeto, foi elaborado um esquema de possíveis soluções para a estrutura de funções, para posteriormente avaliá-lo e apontar as possíveis combinações. Isto pode ser observado a seguir no Quadro 2 :

| Funções: | Soluções: | | |
|---|---|---|---|
| | A | B | C |
| Fixar para movimentação | Apoio de ante-braço | Banco | Cinto de quadril |
| Impulso | Forçado | Pelo usuário | Motor |
| Peso/resistência da estrutura | Aço | PVC | Aço e Alumínio |
| Estabilidade do rodado | Borracha | Silicone | Nylon |
| Deslocamento do ocupante | Pernas | Transportado por outro | |

Quadro 2 - Variáveis de solução
Fonte: Autor, 2019

Após apontamento das combinações realizáveis, é necessário eliminar algumas soluções, levando em conta a dificuldade de execução de algumas ou a inviabilidade de custo, mesmo sendo possíveis teoricamente.

No momento, as 4 combinações aprovadas são:

A) 1A, 2B, 3A, 4A e 5A;
B) 1A, 2B, 3C, 4A e 5A;
C) 1C, 2B, 3A, 4A e 5A;
D) 1C, 2B, 3C, 4A e 5A.

As soluções para as funções 2, 4 e 5 já foram definidas pela seleção feita, pois apresentaram compatibilidade com a lista de requisitos, e foram únicas restantes da avaliação da lista de seleções. Já as funções 1 e 3 obterão duas soluções possíveis para cada.

Combinações A e B: estas combinações são muito semelhantes, a única diferença entre elas está no material selecionado para a estrutura. Na combinação A, como solução para o material da estrutura, temos o aço comercial, que apresenta boa resistência mecânica e é um material de fácil obtenção no mercado. Seu único contra está no peso da estrutura. Uma das exigências da lista de requisitos é que o peso do equipamento seja o menor possível, levando em conta o esforço físico do ocupante.

Por outro lado, a combinação B tem como solução para material estrutural o uso de alumínio e aço, sendo utilizado aço somente nas partes que exigem maior resistência mecânica e alumínio nos demais componentes, o que proporciona

menor peso da estrutura. Apesar disso, o alumínio encarece o produto final de maneira significativa, então, a combinação A se torna mais propícia, tendo em vista que o peso é menos significante que o custo neste caso.
Combinações C e D: estas combinações se diferem das anteriores apenas pela forma de fixação da criança, que pode ser através de cinto para quadril e/ou apoio de antebraço (A e B). Ambas são soluções viáveis para fixar o usuário. Tendo em vista a fixação da criança, o cinto de quadril é a forma mais ergonômica de acoplar a pessoa no andador, tornando o auxiliar de marcha uma extensão de seu próprio corpo. Em segundo lugar, mas não menos importante, são os apoios de antebraço, que possibilitam a criança uma firmeza do tronco, promovendo um melhor equilíbrio enquanto usando o andador, e tornando essa atividade mais independente, não necessitando auxílio de outra pessoa para segurar os braços e firmar o tronco do usuário.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico será apresentado o conceito e projeto final do equipamento andador infantil, correspondente as fases de anteprojeto e detalhamento propostas pelo autor Pahl et al. (2005).

### 4.1 Combinação final

Esta combinação é formada pela junção de várias soluções, que passaram por análise para serem consideradas viáveis para o projeto, conforme descritas abaixo.

A fixação do usuário, foi resolvida pela junção das soluções A e C, onde ambas são de grande valia se tratando da fixação correta e confiável do usuário, que é uma prioridade do equipamento. Com o apoio de antebraço o paciente consegue ter uma firmeza superior, que promove maior equilíbrio e estabilidade do tronco, e o cinto de quadril vai proporcionar a postura correta das pernas, onde será ajustado para a criança ficar em pé, e o andador vai ser como uma extensão do seu corpo.

O impulso deve ser provocado pelo usuário, obrigatoriamente, pois não há fortalecimento muscular se o ocupante não fizer o esforço, exceto até se familiarizar com o equipamento, quando será necessário ter uma ajuda externa para os primeiros passos.

A estrutura do andador deve possuir o menor custo, a solução mais apropriada foi utilizar aço, mesmo sabendo que este material possui um peso específico maior do que o alumínio, o ganho em custo é bastante significativo se tratando dos valores de aços comerciais e alumínios.

Para as rodas do andador, foi selecionado o material que possui um atrito necessário para promover estabilidade do rodado, fazendo com que o andador se torne mais estável a tombamentos e deslizes.

O deslocamento do ocupante é feito pelas pernas, obviamente, se não o equipamento não faria jus a sua função, que é fortalecer e treinar a marcha de caminhada das crianças com restrições nos membros inferiores. Se o deslocamento for forçado por outro ou feito por um motor elétrico, não será obtido o resultado esperado para este trabalho.

A Figura 3 apresenta o desenho do projeto do auxiliar de marcha realizado com auxílio do *software* 3D.

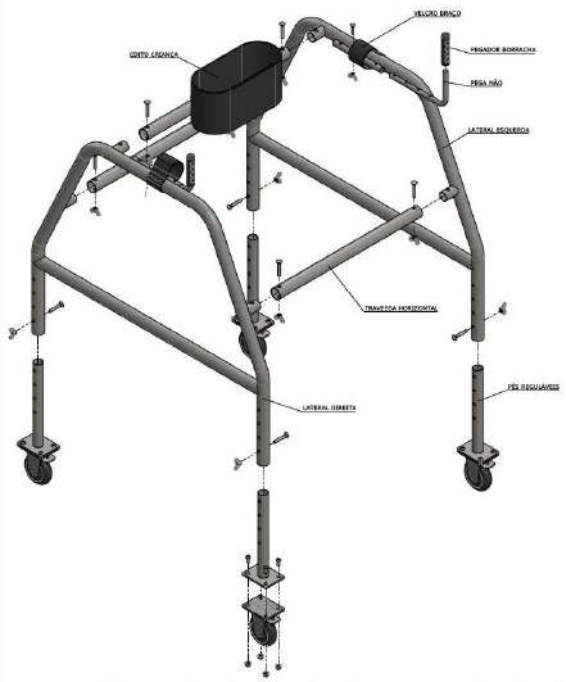



Figura 3 - Combinação final do equipamento
Fonte: Autor, 2019

Como pode ser visto, o auxiliar de marcha possui todas junções parafusadas, podendo facilmente ser desmontado. Sua montagem parte da união das duas laterais com as travessas horizontais, após os pés podem ser montados com a regulagem desejada e em seguida os dispositivos de fixação do usuário, então o equipamento estará pronto para uso.

Buscando um equipamento simples que atenda os objetivos e possua menor custo comparado ao que existe no mercado, a seguir pode ser visto o resultado do equipamento (Figura 4), com a aparência de produto final obtida através da renderização.



Figura 4 - Produto final
Fonte: Autor, 2019

## 5. CONCLUSÕES

O auxiliar de marcha é um equipamento usado para fins de treinamento e desenvolvimento da caminhada, e no presente projeto tivemos como foco o público infantil, que é a fase de crescimento e aprendizado onde pode ser aplicado um desenvolvimento da marcha e obter melhores resultados.

Neste trabalho foram cumpridas etapas da metodologia de projeto de Pahl et al. (2005), que provou ser uma ferramenta excelente para o desenvolvimento de produtos, isso justifica sua grande utilização na área de projetos. Com ela foi possível determinar uma solução entre as diferentes combinações possíveis para o produto, visando cumprir grande parte dos requisitos inicialmente listados.

Os requisitos de segurança foram atendidos, levando em conta as especificações da norma regente e orientações de fisioterapeutas. A ergonomia foi uma das características alcançadas com o detalhamento do dispositivo, visto que o usuário pode regular o equipamento conforme sua preferência, e os materiais em contato com o ocupante são tecidos e pegadores de borracha.

Em relação à montagem do produto, vale destacar que este pode ser facilmente desmontado e montado, para facilitar no transporte quando for preciso levar o equipamento para diferentes espaços de treino.

Uma das principais características está no custo teórico do auxiliar de marcha, que comparado com os produtos existentes no mercado brasileiro, consegue competir com um preço de aproximadamente metade dos andadores existentes. Este custo foi concebido através de cotações com comerciantes e empresas metalúrgicas da região, mas sabe-se que o valor é apenas uma referência, pois foram orçadas peças para montar um único equipamento. Se o produto for produzido em larga escala, o custo final sofrerá uma significativa redução, levando em conta que a fabricação de mais itens do conjunto por vez, faz com que os custos sejam diluídos numa maior quantidade de peças, resultando num valor unitário menor e consequentemente o conjunto se torna mais barato.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 16311 - Andador para criança - Requisitos de segurança e métodos de ensaio**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 19 p.

HENKEL, E. et al. **Projeto Moovah!: ergonomia e design universal na tecnologia assistiva**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC, p. 19. 2015. (2316-7963).

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9749&t=destaques>. Acesso em: 01 maio 2019.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia:** Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações. Tradução de Hans Andreas Werner. 6º. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

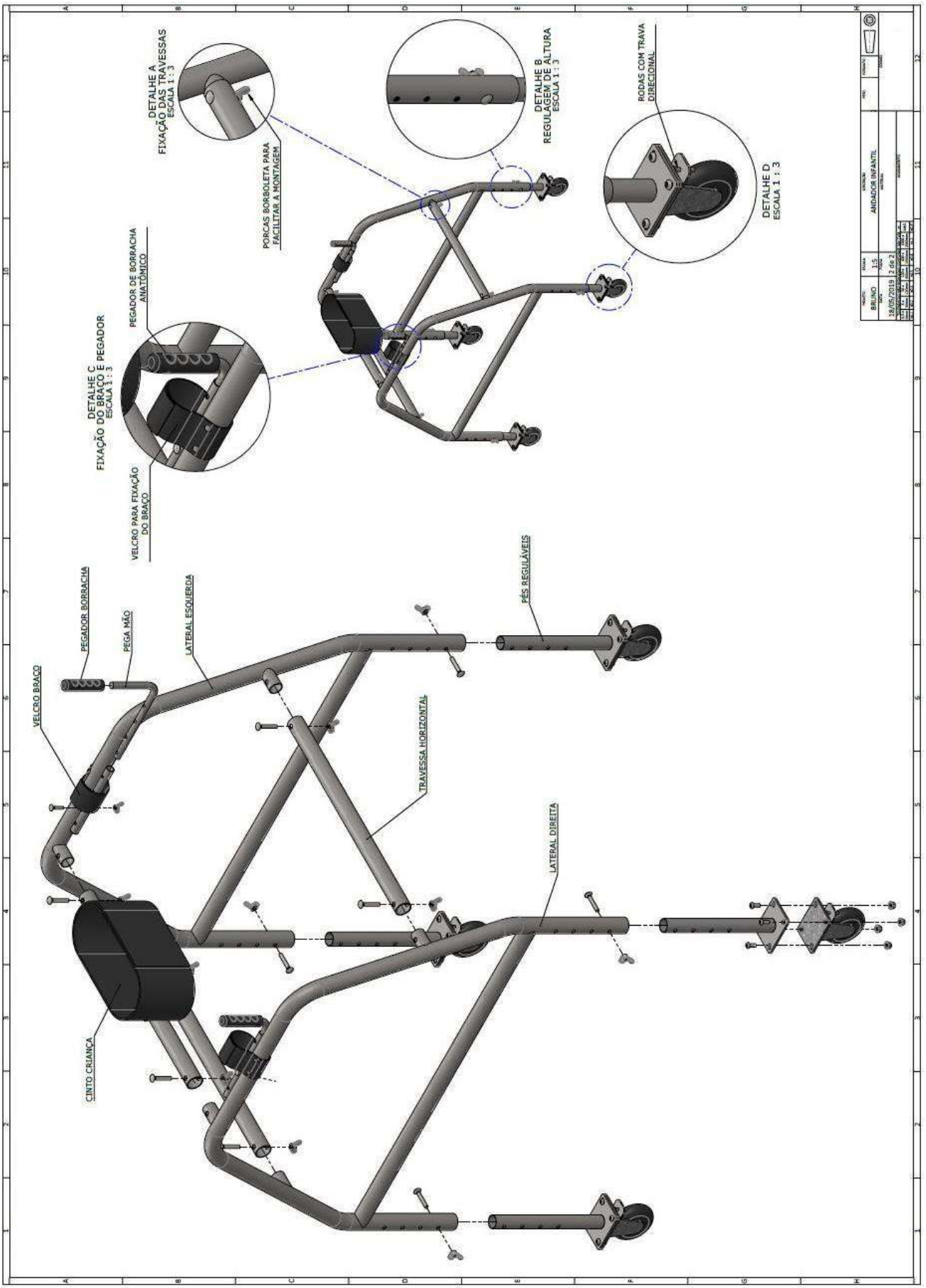
SARTORETTO, M. L.; BERSCH, R. **Assistiva, Tecnologia e Educação**, 2017. Disponível em: <www.assistiva.com.br/tassistiva.html#topo>. Acesso em: 14 maio 2019.

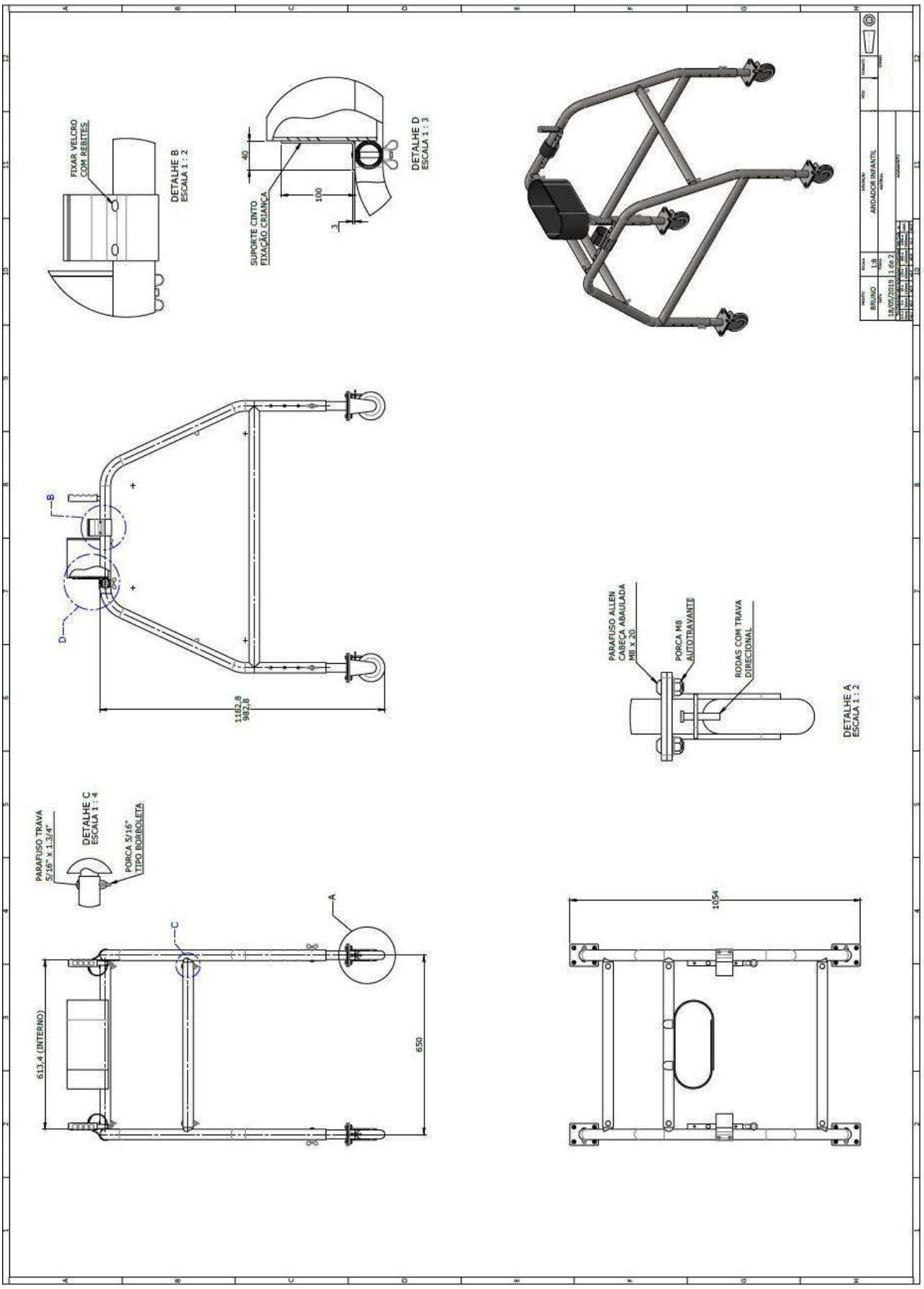
SILVA, J. C. P. D.; PASCHOARELLI, L. C. A evolução histórica da ergonomia no mundo e seus pioneiros. **Arquivo Unesp**, 2010. ISSN 978-85-7983-120-1. Disponível em: <https://archive.org/stream/9788579831201/9788579831201_djvu.txt>. Acesso em: 02 maio 2019.

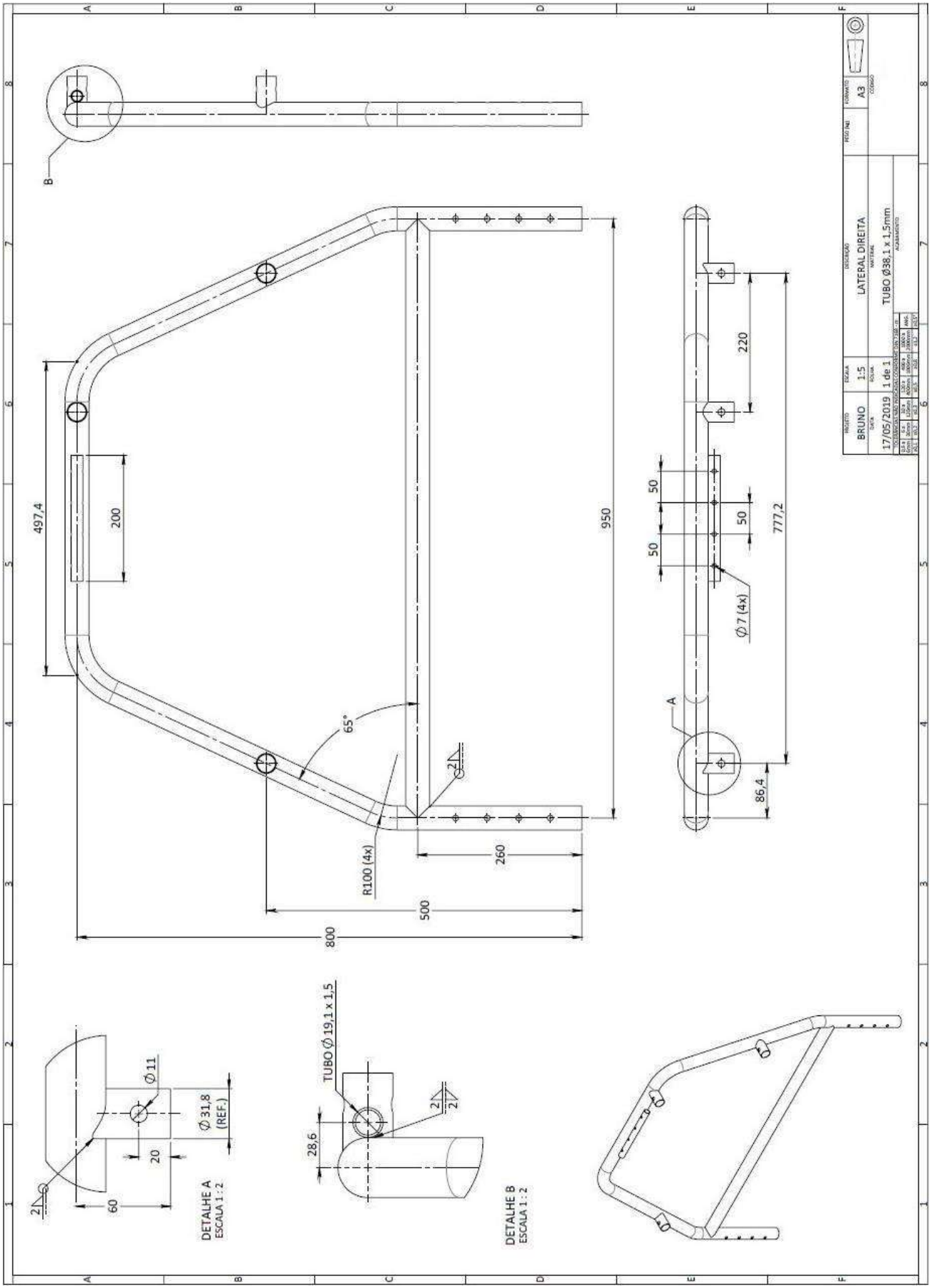
## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

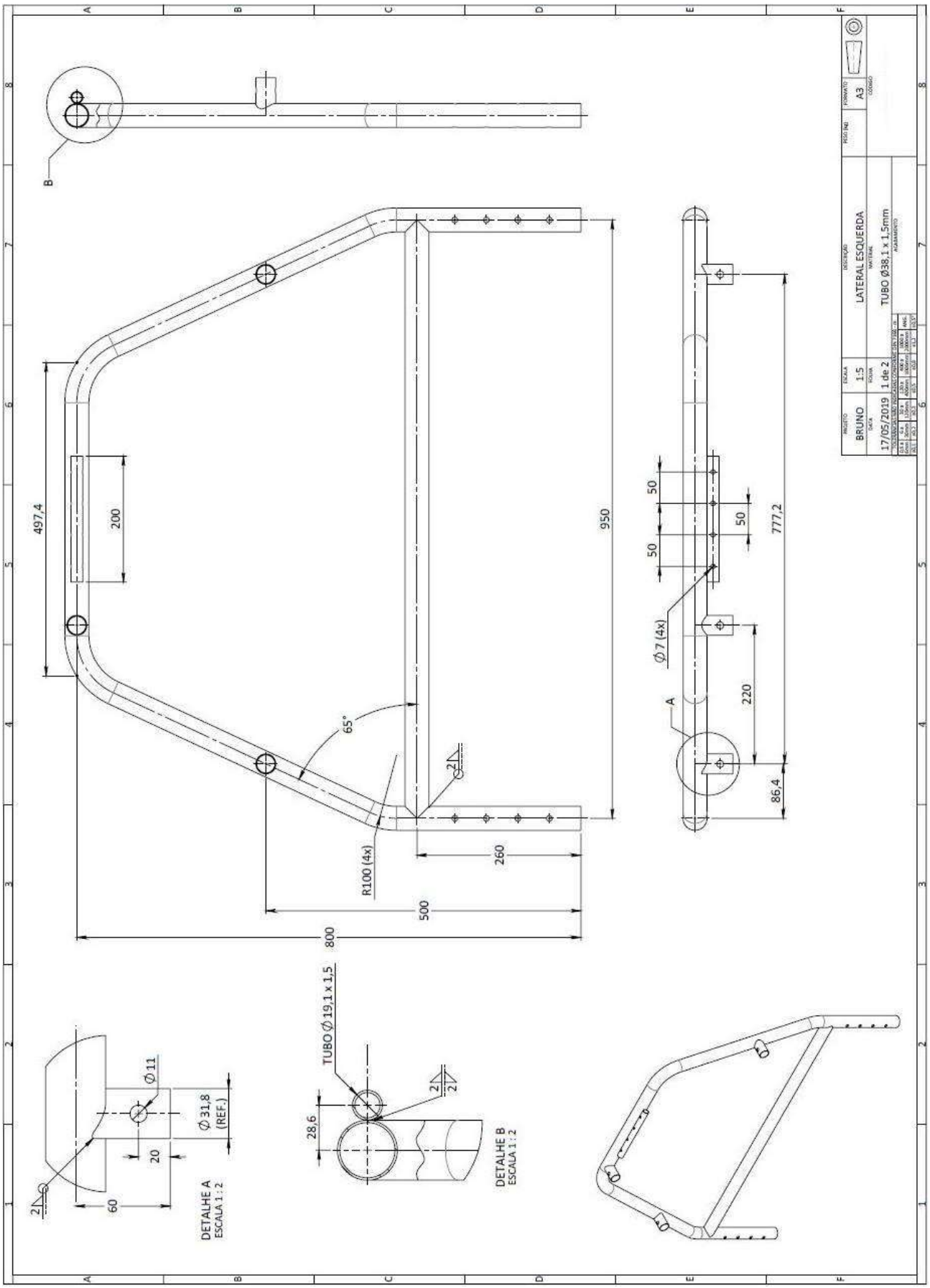
Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

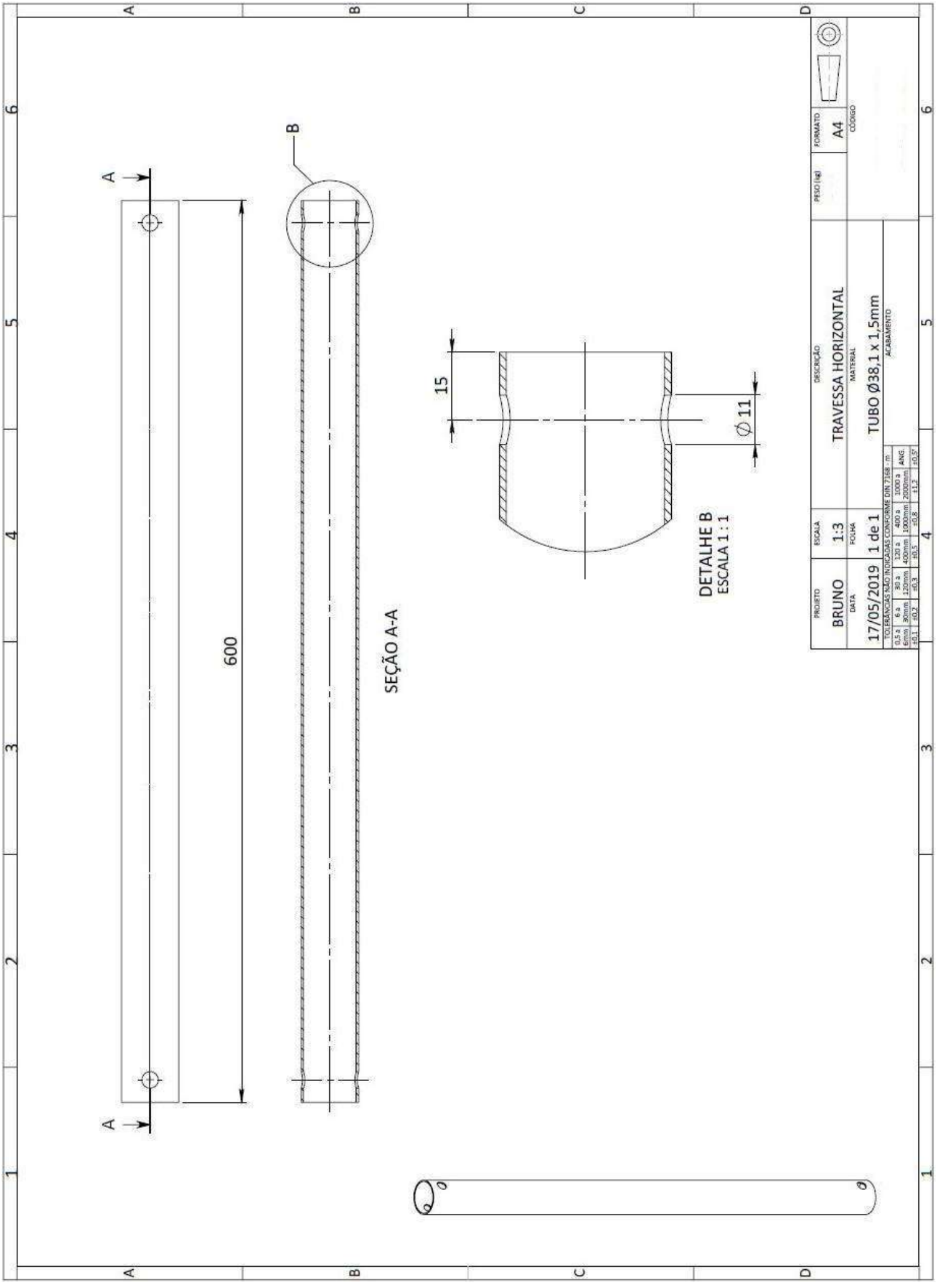
## 8. APÊNDICE – DESENHOS DO ANDADOR INFANTIL.

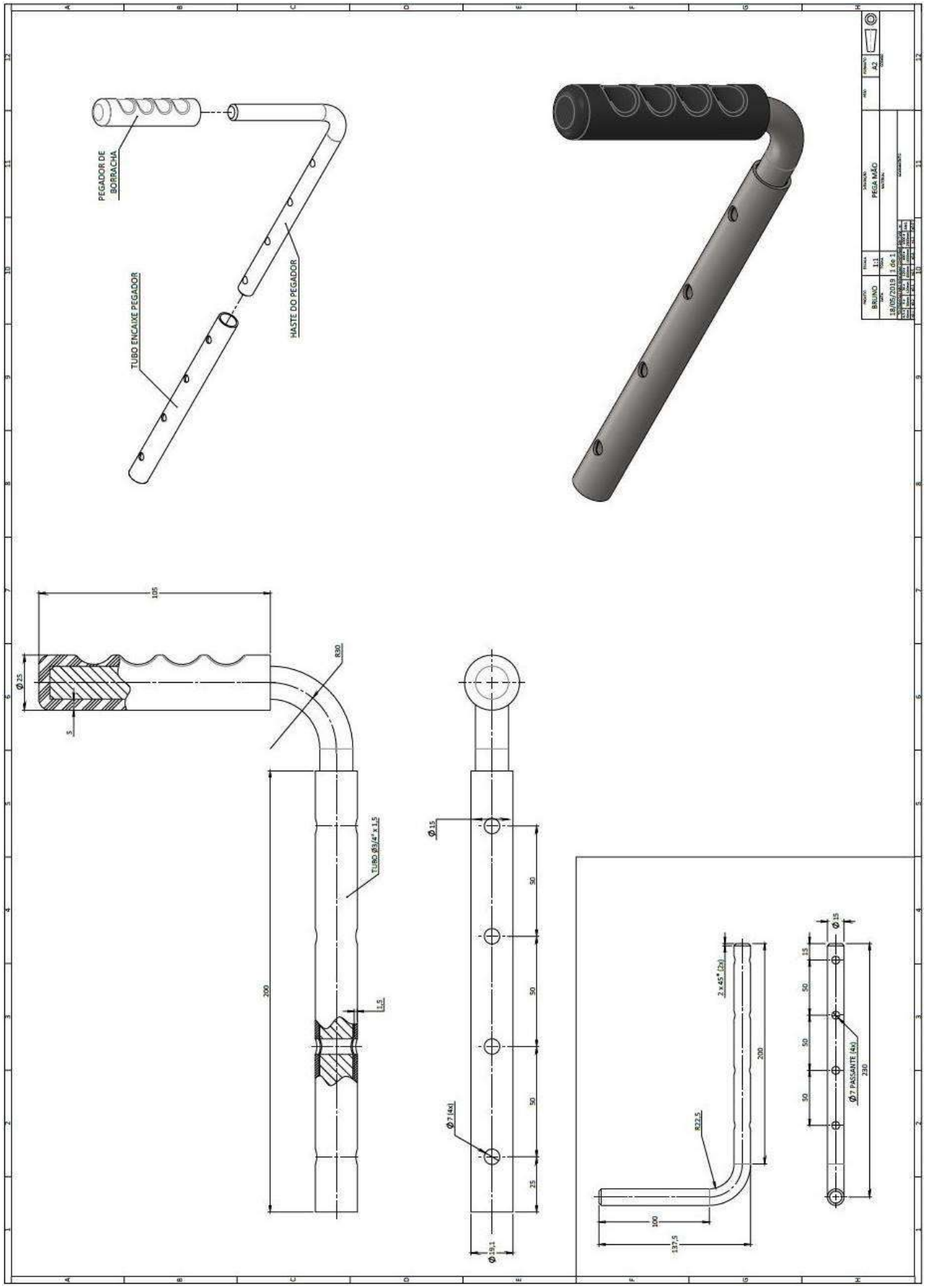


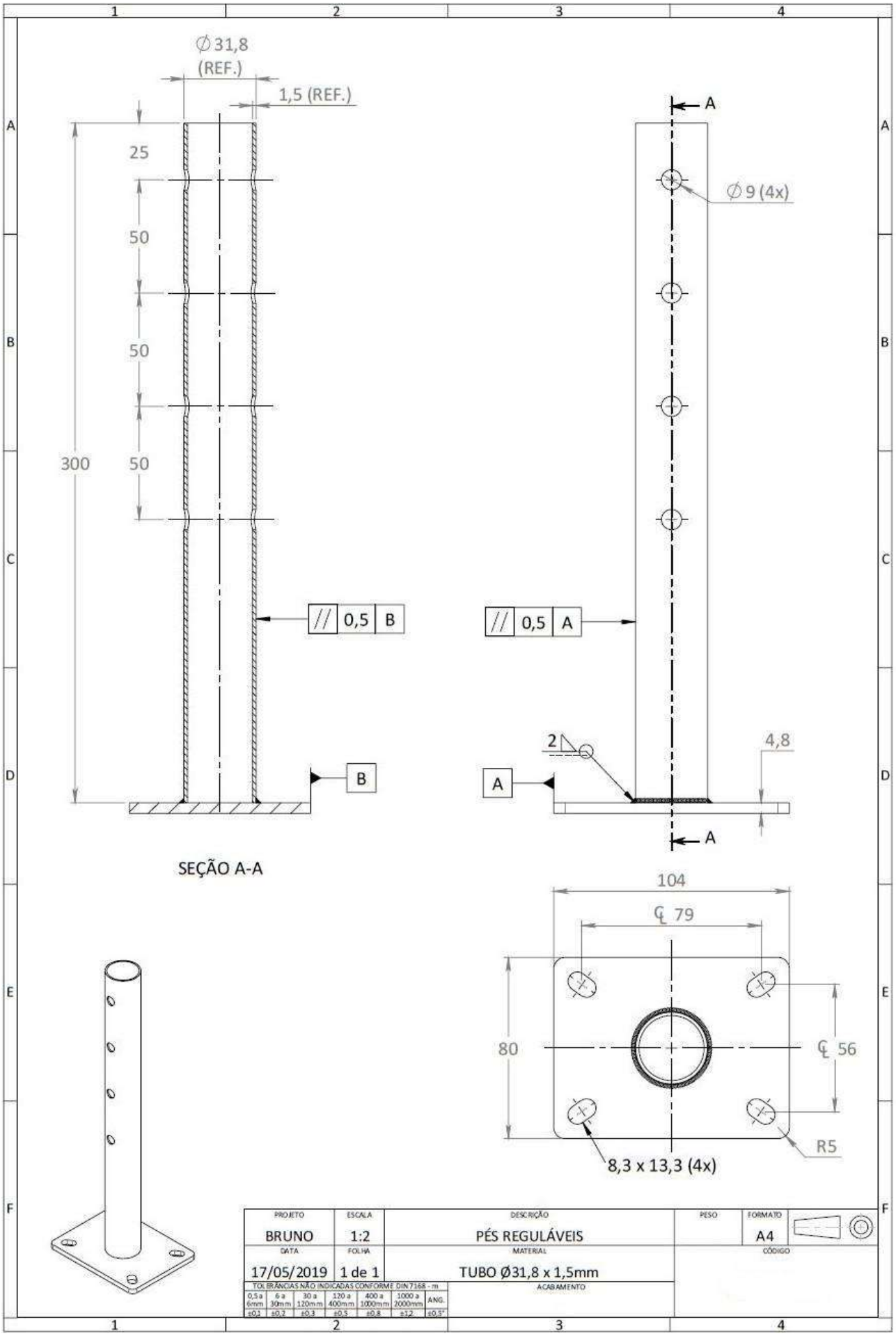

FIXAR VELCRO COM REBITES
DETALHE B
ESCALA 1 : 2
SUPORTE CINTO FIXAÇÃO CRIANÇA
40
100
3
DETALHE D
ESCALA 1 : 3
ANDADOR INFANTIL
BRUNO
18/05/2019
1:8
1 de 2
B
D
1182,8
982,8
PARAFUSO ALLEN CABEÇA ABAULADA M8 x 20
PORCA M8 AUTOTRAVANTE
RODAS COM TRAVA DIRECIONAL
DETALHE A
ESCALA 1 : 2
PARAFUSO TRAVA 5/16" x 1.3/4"
DETALHE C
ESCALA 1 : 4
PORCA 5/16" TIPO BORBOLETA
A
C
613,4 (INTERNO)
650
1054


LATERAL DIREITA
TUBO Ø38,1 x 1,5mm
BRUNO
17/05/2019
1:5
A3
1 de 1
497,4
200
950
65°
R100 (4x)
260
500
800
220
50
50
50
777,2
Ø 7 (4x)
86,4
DETALHE A
ESCALA 1 : 2
Ø 11
Ø 31,8
(REF.)
20
60
DETALHE B
ESCALA 1 : 2
TUBO Ø 19,1 x 1,5
28,6


LATERAL ESQUERDA
TUBO Ø38,1 x 1,5mm
BRUNO
17/05/2019
1:5
1 de 2
A3
497,4
200
950
65°
R100 (4x)
260
500
800
777,2
50
50
50
Ø7 (4x)
220
86,4
DETALHE A
ESCALA 1 : 2
Ø11
Ø 31,8
(REF.)
20
60
TUBO Ø 19,1 x 1,5
28,6
DETALHE B
ESCALA 1 : 2


A
B
600
SEÇÃO A-A
15
Ø11
DETALHE B
ESCALA 1 : 1
PROJETO
BRUNO
ESCALA
1:3
DATA
17/05/2019
FOLHA
1 de 1
DESCRIÇÃO
TRAVESSA HORIZONTAL
MATERIAL
TUBO Ø38,1 x 1,5mm
ACABAMENTO
PESO (kg)
FORMATO
A4
CÓDIGO
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS CONFORME DIN 7168 - m
0,5 a 6mm ±0,1
6 a 30mm ±0,2
30 a 120mm ±0,3
120 a 400mm ±0,5
400 a 1000mm ±0,8
1000 a 2000mm ±1,2
ANG. ±0,5°


PEGADOR DE BORRACHA
TUBO ENCAIXE PEGADOR
HASTE DO PEGADOR
PEGA MÃO
BRUNO
105
Ø25
5
R30
TUBO Ø3/4" x 1,5
200
1,5
Ø15
50
50
50
25
Ø7 (4x)
Ø19,1
2 x 45° (2x)
R22,5
100
137,5
200
Ø15
15
50
50
50
Ø7 PASSANTE (4x)
230


∅31,8
(REF.)
1,5 (REF.)
25
50
50
50
300
// 0,5 B
B
SEÇÃO A-A
A
∅9 (4x)
// 0,5 A
2
4,8
A
A
104
℄ 79
80
℄ 56
R5
8,3 x 13,3 (4x)
PROJETO
BRUNO
ESCALA
1:2
DESCRIÇÃO
PÉS REGULÁVEIS
PESO
FORMATO
A4
DATA
17/05/2019
FOLHA
1 de 1
MATERIAL
TUBO Ø31,8 x 1,5mm
CÓDIGO
ACABAMENTO
TOLERÂNCIAS NÃO INDICADAS CONFORME DIN 7168 - m
0,5 a 6mm ±0,1
6 a 30mm ±0,2
30 a 120mm ±0,3
120 a 400mm ±0,5
400 a 1000mm ±0,8
1000 a 2000mm ±1,2
ANG. ±0,5°

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO EM PILOTO DE VEÍCULO BAJA SAE

**Márcio Walber**
**Cristian Bicigo**
**Marcelo Henrique da Silva**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
mwalber@upf.br, 127525@upf.br, 120268@upf.br

***Resumo:*** *O projeto Baja SAE é um programa estudantil da SAE Brasil que promove uma competição onde desafia os estudantes de engenharia a desenvolver um protótipo off-road. Um dos componentes mais importantes deste protótipo é seu chassi, pois é o responsável por receber os impactos e vibrações e assim garantir a segurança do piloto. Partindo deste conceito de confiabilidade e segurança, o principal objetivo deste trabalho é analisar o comportamento do chassi desenvolvido pela equipe Mas Baja Tchê da Universidade de Passo Fundo. Esta análise foi realizada por meio de estudo das vibrações que o protótipo sofre durante sua utilização, baseando a análise em norma especifica para o estudo de vibrações. Com os resultados obtidos, foi determinado o tempo limite de utilização do veículo sem que possa causar problemas a saúde do piloto. Ainda, foi verificado um ponto crítico que poderá trazer riscos durante a utilização do protótipo.*

**Palavras chave:** Método dos elementos finitos; Análise estática; vibrações; Baja SAE.

## 1. INTRODUÇÃO

O projeto Baja SAE foi criando no ano de 1976 na Universidade da Carolina do Sul nos Estados Unidos. No Brasil as atividades iniciaram no ano de 1995 e o Baja da Universidade de Passo Fundo conhecido pelo nome de Mas Baja Tchê surgiu no ano de 1999. Na Figura 1 visualiza-se o veículo da Universidade de Passo Fundo do ano de 2015. A finalidade do projeto é oferecer aos estudantes de engenharia o desafio de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, visando melhorar sua preparação para o mercado de trabalho. O projeto envolve um caso real de engenharia, desde a concepção até a construção do protótipo. Todo o projeto deve ser desenvolvido seguindo o regulamento proposto pela SAE Brasil, aumentando assim o nível técnico da competição e o nível de segurança dos protótipos.




Figura 1. Veículo da equipe no ano de 2015

Segundo SAE Brasil (2012), a estrutura tem como propósito principal proporcionar um espaço mínimo em torno do condutor para garantir sua segurança, a mesma deve também ser projetada e fabricada de modo a evitar falhas de sua

integridade. O regulamento exige um reforço na estrutura. Conforme mostra a Figura 2, o contraventamento deve partir do ponto D, passando pelo ponto E até encontrar o tubo LFS. Também pode ser visto na figura que alguns ângulos devem ser respeitados.

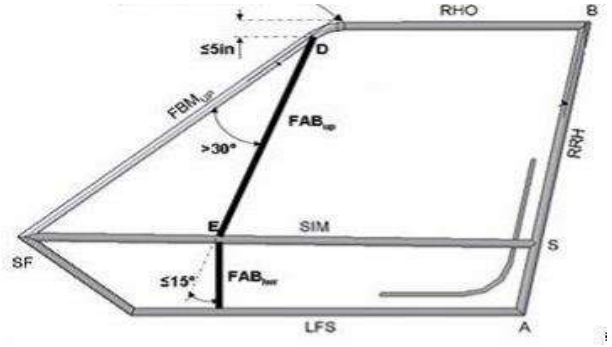



Figura 2. Reforço frontal

Segundo o regulamento, o material utilizado deve ter um teor de carbono de no mínimo 0,18%. Além disso, os elementos denominados de tubos fortes, RRH, RHO, LFS, FBM e LC descritos na Fig. 3, devem possuir um diâmetro externo de 25,4 mm e uma espessura de 3,05 mm, o regulamento permite que outras configurações de dimensões dos tubos sejam usadas, desde que a espessura da parede não seja inferior a 1,57 mm e que a resistência a flexão e rigidez a flexão sejam pelo menos iguais as características do tubo padrão, e sobre a condição de que a equipe apresente aos juízes da competição os cálculos de rigidez a flexão e resistência a flexão. Os elementos SIM e USM, também representados na Fig. 3 são denominados de tubos fracos, devem ser de aço e é obrigatório ter pelo menos a espessura mínima de 0,89 mm e diâmetro externo mínimo de 25,4 mm.

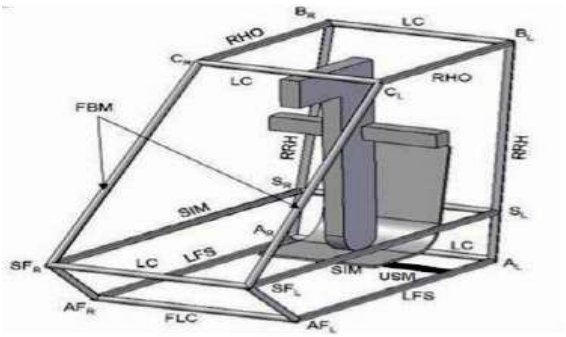



Figura 3. Tubos fortes e fracos

Griffin (1990) afirma que as vibrações de corpo inteiro ocorrem quando a massa do corpo está apoiada sobre uma superfície vibrante, como por exemplo, quando o corpo está sentado sobre um assento que vibra. As vibrações de corpo inteiro apresentam-se principalmente em transportes e veículos, o que expõem o ser humano a vibrações mecânicas. A resposta humana depende da duração total da exposição. Existem vários efeitos causados pelas vibrações. Os mais danosos são lentidão de reflexos, aumento da frequência cardíaca, comprometimento de determinados órgãos do corpo e degeneração gradativa do tecido muscular e nervoso.

Segundo Vendrame (2005), o corpo humano possui uma vibração natural. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica na amplificação do movimento. A energia vibratória é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos. O corpo humano possui diferentes frequências de ressonância, conforme Fig. 4.

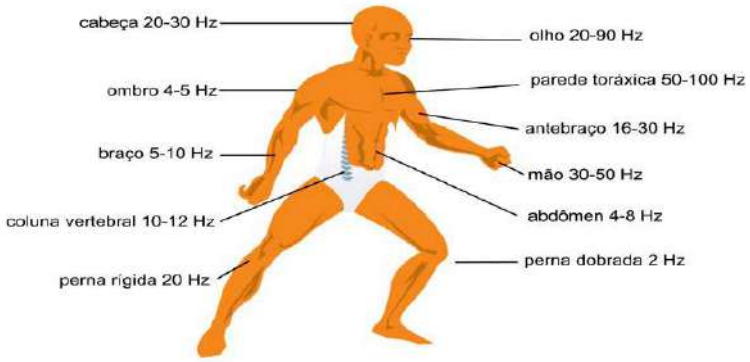



Figura 4. Frequências de ressonância do corpo humano

Os efeitos da vibração no homem dependem, entre outros fatores, das frequências que compõem a vibração. As baixas frequências, de 1 Hz até 80 Hz são as mais prejudiciais. Nessas faixas de frequência, ocorre a ressonância das partes do corpo, que pode ser considerado como um sistema mecânico complexo. Acima de 80 Hz, as partes do corpo absorvem a vibração, assim não ocorre ressonância.

Foram desenvolvidos com o passar dos anos diversos métodos para classificar a gravidade da exposição e definir os limites de exposição para aplicações específicas. Porém, nenhum desses métodos é aplicável a todas as situações de exposição. Consequentemente, nenhum é utilizado universalmente. Assim, foi desenvolvida a norma ISO 2631-1, a qual tem como objetivo facilitar a avaliação e comparação de dados nesta área. A finalidade da norma é definir métodos para quantificar os efeitos no corpo inteiro com relação à saúde, fadiga e conforto humano, podendo ser utilizada para avaliar vibrações geradas por veículos e máquinas, onde pessoas estão expostas às vibrações mecânicas que podem interferir no conforto, nas atividades ocupacionais e na saúde, como o caso de vibrações transmitidas ao corpo como um todo através de superfícies de sustentação, como as nádegas de um homem sentado.

A Norma ISO 2631-1estabelece limites de aceleração máxima recomendadas para cada tempo de exposição. Dessa maneira, são determinados três grupos de severidade, que são limites para conforto, limites para perda de eficiência causada por fadiga e limites de exposição máxima que se ultrapassado pode oferecer riscos à saúde. O gráfico apresentado na Fig. 5 pode ser utilizado para limitar o tempo de exposição à vibração para determinadas frequências relacionando fadiga, saúde e conforto nas direções x e y.

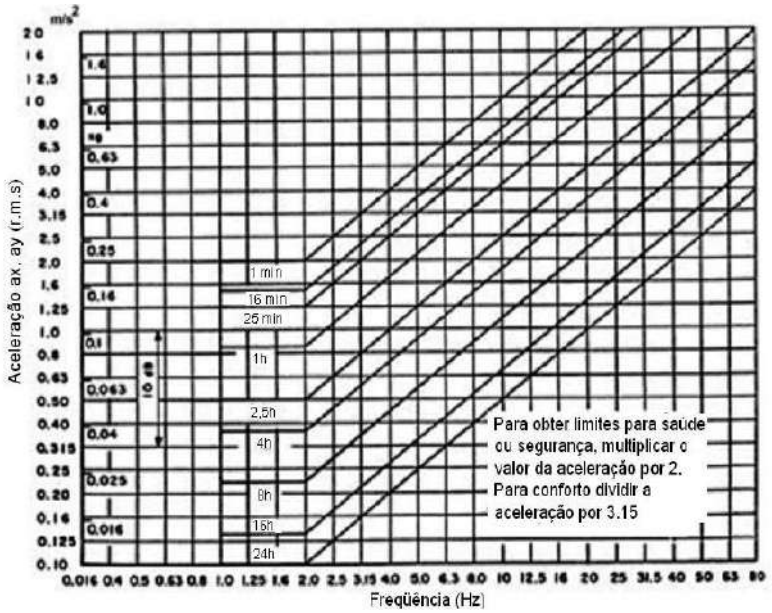



Figura 5. Limites para fadiga, saúde (x2) e conforto (/3,15) versus frequência para os eixos x e y

Para verificar se os limites foram ultrapassados, as acelerações r.m.s. obtidas experimentalmente devem ser colocadas junto com os valores de aceleração para a faixa de frequência de 1 a 100 Hz e verificar se ultrapassam os limites estabelecidos pela norma.

Segundo Walber (2009), a vibração transmitida ao corpo de um material não rígido, como a espuma de um assento, deve ser medida com o auxílio de um transdutor interposto entre a pessoa e a área de contado. Isso deve ser feito para impedir que o movimento do acelerômetro seja diferente do movimento do corpo alterando assim os resultados obtidos. Desta maneira, um dispositivo conhecido como SAE Pad deve ser utilizado para garantir que o acelerômetro apresente apenas resultados reais. A Fig. 6 apresenta o projeto de um SAE Pad desenvolvido por Walber para este tipo de aplicação.

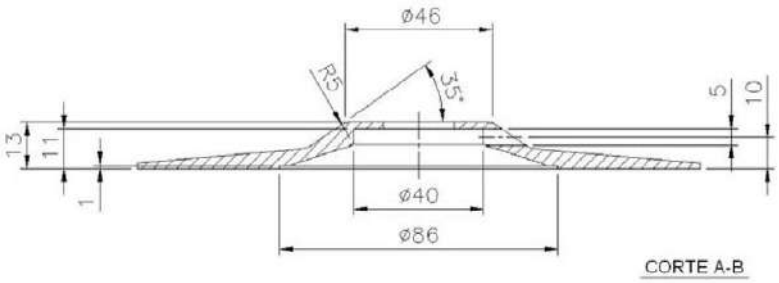



Figura 6. Projeto SAE Pad

## 2. DESENVOLVIMENTO

O trabalho consiste no estudo das vibrações no corpo humano a que o piloto fica exposto durante a pilotagem. Este estudo é de grande importância para determinar o tempo máximo de exposição do piloto ao veículo. Esta parte do trabalho é constituída de medições praticas das acelerações no chassi e comparação dos resultados com os limites determinados pela Norma ISO 2631-1.

### 2.1 Metodologia Aplicada nos Ensaios

Para os ensaios, foram definidas três situações diferentes a que piloto ira se submeter quando o veículo estiver ligado. A primeira situação é com o veículo parado com o motor em baixa rotação. O segundo teste foi realizado em uma reta de terra sem obstáculos de aproximadamente sessenta metros e com aceleração máxima do veículo. O terceiro teste foi em uma seção de terra com obstáculos irregulares que dificultam a passagem. Todas as coletas de dados foram feitas em um tempo aproximado de 30 segundos. Para a realização das medições foram acoplados acelerômetros em três pontos do veículo. Os acelerômetros fazem a medição no eixo (y) vertical. Os pontos de fixação foram determinados de acordo com a norma ISO 2631-1, um acelerômetro no assento, um no encosto para as costas e um no assoalho. O objetivo de diversificar os lugares de medição é determinar o ponto mais crítico e o valor da maior vibração. A Fig.7 mostra a localização de fixação dos acelerômetros.

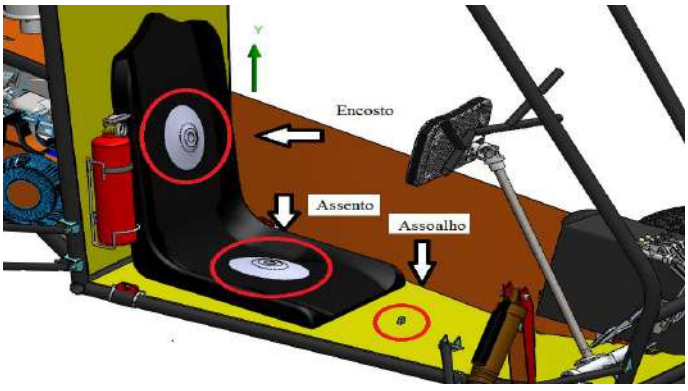



Figura 7. Posição de fixação dos acelerômetros

Os acelerômetros estão acoplados a SAE Pads que foram instalados segundo especificações definidas por Griffin (1990), para que pudesse ser feita uma melhor coleta de dados, pois os SAE Pads garantem a direção correta de medição, não permitido que os acelerômetros se movam durante os testes.

Para um melhor estudo do caso, os ensaios foram feitos utilizando dois assentos com características diferentes para que se pudessem ser feitas comparações entre eles. Um assento estofado e outro sem estofamento. A Fig. 8 mostra os dois assentos utilizados.




Figura 8. Bancos utilizados

### 2.2 Veículo Utilizado nos Ensaios

Para a realização dos testes práticos, foi utilizado o protótipo MBT-14, pois é o protótipo atual e com o qual a equipe irá participar das próximas competições. A Tab. 1 mostra as características principais.

Tabela 1. Características do protótipo utilizado no ensaio

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ano de fabricação | 2014 | Localização do motor | Atrás do piloto |
| Altura | 1.575 mm | RPM (neutro) | 900 RPM |
| Comprimento | 1.982 mm | RPM máximo | 3.800 RPM |
| Entre eixos | 1.552 mm | Massa do veículo | 170 Kg |
| Potência do motor | 10 HP | | |

### 2.3 Terreno para Realização do Procedimento

O local onde foram realizados os testes foi a pista de testes da equipe Mas Baja Tchê. O local foi escolhido, pois o tipo de solo e suas irregularidades são semelhantes ao que é encontrado nas competições oficiais. A Fig. 9 apresenta uma vista panorâmica da pista.



Figura 9. Vista panorâmica do local dos testes

### 2.4 Equipamentos Utilizados

Para a realização dos testes, alguns equipamentos foram utilizados para captação do sinal e tratamento dos dados:

- Para a medição da aceleração nos pontos já determinados, foram utilizados acelerômetros da marca Silicon Designs Inc, com o número do modelo 2460-10, este é um acelerômetro triaxial feito apropriadamente para captar vibrações e possui uma sensibilidade de 400 mV/g.
- Para aquisição do sinal foi utilizado um amplificador universal de 8 canais da marca HBM modelo QuantumX MX840B.
- Para o processamento dos dados foi utilizado o *software* Catmam Easy AP.

A Figura 10 mostra os acelerômetros instalados no protótipo para a realização dos testes práticos.




Figura 10. Instrumentação embarcada.

## 2.5 Aquisição dos Dados

A coleta do sinal vindo dos acelerômetros foi realizada com o auxílio de um amplificador universal de oito canais da marca HBM modelo QuantumX MX 840B. O sinal, após passar pelo amplificador é colhido pelo software de aquisição de dados Catmam Easy AP. No programa foi feita a separação dos canais, pois todos os sinais são coletados simultaneamente pelo amplificador. A Fig. 11 apresenta uma imagem do software e dos sinais medidos antes da separação.

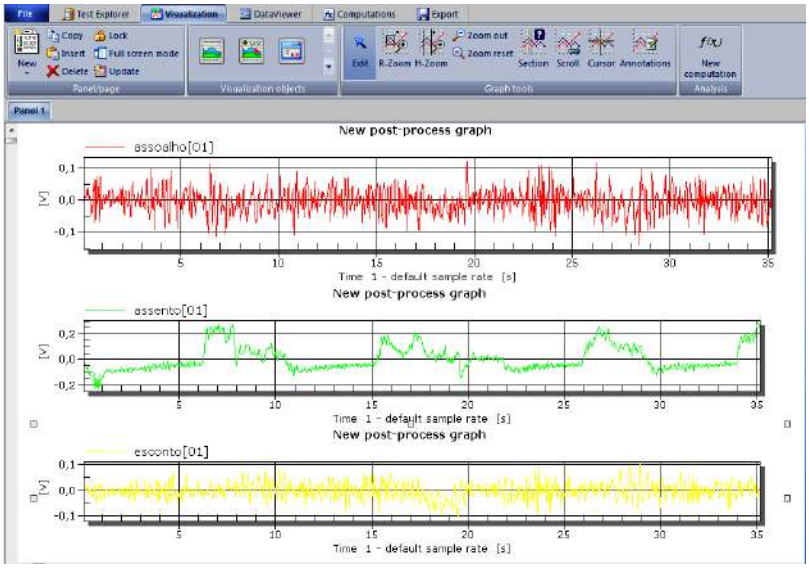



Figura 11. Canais separados

## 2.6 Tratamento dos Dados

O programa computacional utilizado para o pós processamento das acelerações medidas foi desenvolvido na linguagem de programação gráfica HPVee (Hewlett-Packard Visual Engineering Environment). A linguagem gráfica HPVee é suportada pela maioria das plataformas computacionais e sistemas operacionais existentes no mercado. O programa de tratamento dos dados que compara o sinal medido com as curvas limites da Norma ISO 2631-1 foi desenvolvido por Balbinot (2001). O painel principal do programa está representado na Fig. 12. A janela principal do programa permite ao usuário alterar alguns parâmetros além de visualizar graficamente a comparação com a norma ISO 2631-1.

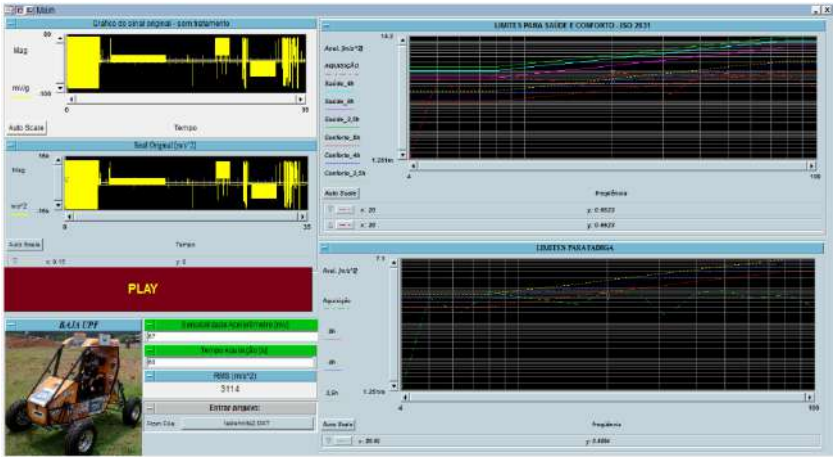



Figura 12. Janela principal do programa de avaliação dos níveis de vibração

O programa de processamento é dividido em duas etapas principais: rotinas de processamento básicas (FFT, r.m.s., média, desvio padrão, etc.) e rotina de avaliação dos níveis de vibração do corpo humano. A Fig. 13, apresentam o fluxograma resumido do programa de processamento.

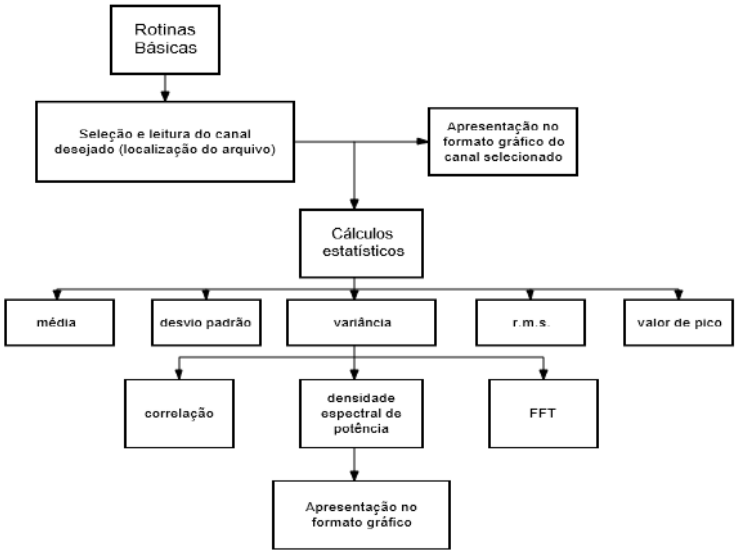



Figura 13. Fluxograma do programa de processamento

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos durante os ensaios relacionam a aceleração com os limites para saúde, conforto e fadiga conforme especifica a Norma ISO 2631-1, comparando-se os dois tipos de assentos ensaiados. Para cada assento existem três pontos de medição: assoalho, assento e encosto. Os gráficos estão relacionados de acordo com o teste, que são: carro parado com o motor ligado, aceleração máxima em pista de terra em linha reta sem obstáculos e trecho de terra com obstáculos, totalizando assim 9 medições em cada assento. A Fig. 14 apresenta os resultados obtidos nos testes relacionando a aceleração com os limites para saúde e conforto, para o veículo na pista com obstáculos, nos acelerômetros posicionados no assento e no encosto. A linha amarela representa o maior valor de vibração para o assento estofado e a linha laranja o maior valor de vibração do banco sem estofamento.

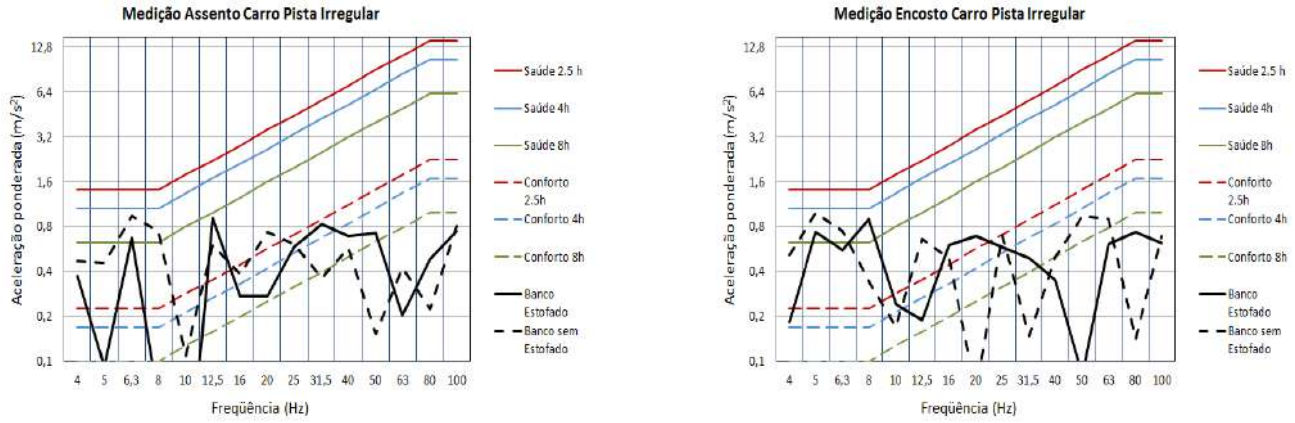



Figura 14. (a) Saúde e conforto: medição no assento (b) medição no encosto

Analisando os gráficos, verificou-se que os limites estabelecidos pela Norma ISO 2631-1 com relação a conforto foram excedidos nas faixas de frequência de até 45 Hz. Em frequências acima de 45 Hz os limites de exposição para conforto acima de 8 horas foram excedidos em todos os pontos medidos. Para os limites relacionados à saúde, que é o resultado mais importante, os dois assentos excederam os limites nas faixas de frequência de até 10 Hz, para uma exposição de 8 horas, limitando assim, a exposição máxima para um período de 4 horas, sem que haja danos à saúde do piloto

Também se notou que para os limites relacionados à saúde, o assento sem estofamento teve um desempenho abaixo do assento com estofamento, aproximando-se do limite de exposição para 4 horas. Sendo assim, conclui-se que o assento com estofamento reduz as vibrações transmitidas ao piloto, o que torna o assento estofado vantajoso em relação ao sem estofamento. A Fig. 15 demonstra detalhadamente a diferença entre o banco com estofamento que está representado pela linha contínua e o banco sem estofamento representado pela linha tracejada. Enquanto o limite do banco estofado fica próximo a 8 horas, o limite do banco sem estofamento se aproxima de limite de 4 horas.

.

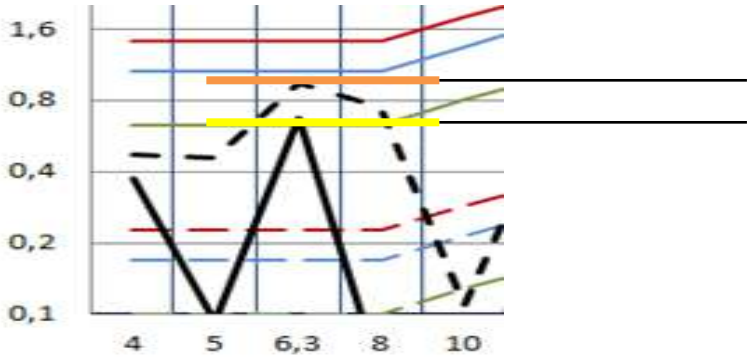



Figura 15. Diferença entre os assentos

Para facilitar a compreensão dos gráficos apresentados, foi elaborada a Tab. 2, que apresenta as acelerações r.m.s. médias ($m/s^2$) e também as maiores acelerações obtidas nos ensaios por acelerômetro, com as correspondentes frequências. A tabela apresenta os três pontos de medição (assoalho, assento e encosto) e as três situações em que foram realizados os testes.

Tabela 2. Acelerações r.m.s. e maiores acelerações

| | | **Banco com Estofamento** | | | **Banco sem estofamento** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Posição do acelerômetro** | **Tipo estrada** | **r.m.s. média $m/s^2$** | **Maior Aceleração $m/s^2$** | **Freq. (Hz)** | **r.m.s. média $m/s^2$** | **Maior Aceleração $m/s^2$** | **Freq. (Hz)** |
| Assento | Parado | 0,258 | 0,8087 | 16 | 0,2585 | 0,8689 | 8 |
| Assento | Pista sem obstáculos | 0,2634 | 0,8136 | 20 | 0,2674 | 0,8645 | 8 |
| Assento | Pista com obstáculos | 0,2639 | 0,8756 | 12,5 | 0,2649 | 0,9689 | 6,3 |
| Encosto | Parado | 0,2593 | 0,8617 | 31,5 | 0,261 | 0,8743 | 20 |
| Encosto | Pista sem obstáculos | 0,2644 | 0,8564 | 5 | 0,268 | 0,8234 | 31,5 |
| Encosto | Pista com obstáculos | 0,2614 | 0,8316 | 8 | 0,2654 | 0,9348 | 5 |
| Assoalho | Parado | 0,4592 | 0,8959 | 8 | | | |
| Assoalho | Pista sem obstáculo | 0,5618 | 0,8564 | 31,5 | | | |
| Assoalho | Pista com obstáculos | 0,5884 | 0,9016 | 16 | | | |

Na Tabela 2 não foram feitas comparações entre as vibrações medidas no assoalho, pois não foram feitas alterações entre as medições. Portanto, os resultados foram bastante similares. Desta maneira apenas um ensaio do assoalho foi incluído na tabela pros fins de comparação com as demais vibrações. Analisando os dados da Tabela 3, ficou evidente que os maiores valores de aceleração se localizam no assoalho do veículo, com r.m.s. médias bem acima das acelerações medidas nos bancos. Outro ponto a ser ressaltado, é que o banco com estofamento possui uma maior capacidade de absorver vibrações, pois apesar das diferenças serem pequenas, todas as r.m.s. médias foram maiores no banco sem estofamento.

## 4. CONCLUSÕES

Analisando os resultados das medições das vibrações, nota-se que os valores de aceleração r.m.s. para o veículo parado não afetariam a saúde do piloto em exposições limitadas em até 4 horas. Mas também se notou que em determinadas faixas de frequências, as acelerações podem ser prejudiciais à saúde, ao conforto e a fadiga. Verificou-se também que o protótipo não oferece condições de conforto ao piloto, mas como o protótipo é um veículo de competição, o conforto não é de grande importância. As principais conclusões que foram tiradas dos estudos das vibrações é que o piloto não irá sofrer danos à saúde ao pilotar o protótipo da equipe Mas Baja Tchê, desde que não seja excedido o tempo de uso de 4 horas. Outro ponto importante, das análises das vibrações, é que após 2,5 horas de exposição as vibrações, o piloto poderá sofre fadiga muscular devido as vibrações, desta maneira, o tempo limite de exposição sem que haja perdas de rendimento do piloto é de 2,5 horas, após esse tempo, o piloto poderá perder rendimento devido a fadiga.

Outra conclusão tirada do estudo das vibrações é que o banco com estofamento possui uma capacidade de absorver vibrações um pouco melhor que a do banco sem estofamento. O que aumenta o tempo limite de exposição do piloto.

## 5. REFERENCIAS

BALBINOT, A. **Caracterização dos Níveis de Vibração em Motoristas de Ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde**. 2001. Dissertação (Doutorado em Eng. Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

Griffin, M. J. 1990. **Handbook of human vibration. Academic Press**, U.S.A.

ISO 2631-1, 1997. **Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to wholebody vibration – Part I: general requirements**. International Standard.1997.

SAE Brasil; **Regulamento Baja SAE Brasil**. Disponível em: <http://www.saebrasil.org.br/>. Acesso em: jun. 2015.

VENDRAME, A. C. **Gestão de Risco Ocupacional**. São Paulo: Thomson, 2005.

WALBER, M. **Avaliação dos Níveis de Vibração Existentes em Passageiros de Ônibus Rodoviários Intermunicipais, Análise e Modificação Projetual**. 2009. Dissertação (Doutorado em Eng. Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# NOVO CONCEITO DE PORTINHOLA PARA ÔNIBUS COM UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURA SANDUICHE

**Márcio Walber**
**Natan Barbizan**
**Daniel Juchem Heck**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
mwalber@upf.br; 105228@upf.br; 151959@upf.br

***Resumo:*** *O presente trabalho apresenta o estudo de um novo conceito de portinhola para ônibus com a utilização de estrutura sanduiche. Material compósito do tipo sanduiche são utilizados nas indústrias automobilísticas, naval e aeroespacial para obtenção de componentes de baixo peso e com elevada rigidez mecânica e resistência ao impacto, substituindo componentes metálicos. Tendo isso como base, o conceito descreve uma estrutura compósita do tipo sanduiche para aplicação em porta de veículos, levando em consideração as normas ASTM C393-00 (2000) – Ensaio de flexão para estruturas sanduiche e ASTM D3501-05 (2005b) – Compressão em painéis compensados estruturais, garantindo um modelo de portinhola que não agrega peso à estrutura, composta por um núcleo inercial de baixa densidade, faces externas rígidas e com uma moldura interna que garante rigidez mecânica as bordas do painel.*

***Palavras Chave*****:** Compósito. Conceito. Portinhola. Peso. Sanduiche.

## 1. INTRODUÇÃO

Projetos relacionados à construção de ônibus são bastante específicos. Todo o ônibus possui seu projeto e suas particularidades, sendo projetados conforme solicitação dos clientes ou órgãos gestores designados a dar aprovação à carroceria. Desafios dessa espécie são quase que rotina numa empresa de ônibus.

Não é possível projetar uma carroceria sem levar em conta aspectos imprescindíveis como peso da mesma, comodidade e segurança para os passageiros e condutores. Através deste propósito, o estudo do novo conceito de portinhola, com a utilização de estrutura sanduíche, deverá proporcionar uma redução no peso final da carroceria, assim como facilitar o manuseio da mesma.

Os materiais compostos resultam da combinação macroscópica de dois ou mais componentes distintos, com o intuito de enfatizar certas características desejáveis destes componentes, as quais não são apresentadas quando cada um deles é considerado isoladamente.

Os materiais compostos resistem satisfatoriamente ao fogo e a elevadas temperaturas, além de proporcionar baixas emissões tóxicas, pouca opacidade das fumaças e baixa inflamabilidade. Certos compostos à base de resina termoplástica resistem aos choques e permitem o retorno das peças a suas formas originais após um impacto de velocidade moderada. Eles também podem absorver uma parte de energia do impacto e assim reduzir as consequências do choque sobre a estrutura global ou sobre seus componentes.

Uma estrutura do tipo sanduíche é composta essencialmente por duas faces externas, podendo inclusive possuir reforços metálicos, e um núcleo, formado normalmente por um polímero celular. As faces deste tipo de compósito podem estar unidas por um adesivo estrutural ou por um núcleo de espuma rígida de poliuretano (PU), injetado diretamente sobre os substratos (SARTORI, 2009).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são descritos todos os procedimentos empregados para desenvolver o projeto em questão, efetuar as medidas conforme o caso. Também são descritas as montagens experimentais utilizadas, análises e resultados parciais.

Os compostos sanduíches podem ser considerados como um caso particular de estratificado, sendo formados por duas placas de grande rigidez e de pequena espessura envolvendo uma alma de baixa resistência. O conjunto placa e alma formam uma estrutura de grande leveza e rigidez.

Foram selecionados diversos tipos de materiais que poderiam ser utilizados no núcleo da estrutura, e optou-se por utilizar poliuretano pelas suas propriedades e pela disponibilidade na empresa. As chapas que compõem as faces serão de alumínio com espessuras de 0,6 mm a 1,5mm.

## 2.1 Estrutura sanduiche

Uma estrutura do tipo sanduíche é composta essencialmente por duas faces externas, podendo inclusive possuir reforços metálicos, e um núcleo, formado normalmente por um polímero celular. As faces deste tipo de compósito podem estar unidas por um adesivo estrutural ou por um núcleo de espuma rígida de poliuretano (PU), injetado diretamente sobre os substratos (SARTORI, 2009).

Segundo Gagliardo et al. (2010), projetos de estruturas do tipo sanduíche têm sido concebidos e adotados como um meio de gerar estruturas resistentes, duráveis e de baixo peso. Essas estruturas são especialmente eficientes na transferência de cargas de flexão e compressão. O uso delas vem se expandindo devido a sua capacidade de combinar alta rigidez a flexão e baixo peso.

> A importância da diminuição do peso de estruturas foi primeiramente reconhecida pelas indústrias aeroespaciais, pois nelas o projeto estrutural do avião é controlado mais pelo peso que pelo custo. Em contrapartida, nas indústrias civil, mecânica e automotiva, os custos são as considerações iniciais, apesar de que o peso do sistema afeta os custos e o desempenho. Outro fator importante nessas considerações é que a crescente falta de matéria-prima e o rápido esgotamento das fontes de energia convencional aumentam a necessidade de estruturas leves, eficientes e de baixo custo. (GAGLIARDO et al., 2010, p. 1).

Estruturas sanduíche para Gagliardo et al. (2010) tem como principal característica a obtenção de elementos com maior rigidez, conseguida com o afastamento das faces resistentes. Pode-se conseguir ainda estruturas mais leves, dependendo do material a ser utilizado.

Um compósito do tipo sanduíche consiste basicamente de duas placas (faces finas) de um material resistente, intercaladas por uma camada de outro material, em geral de baixa densidade e de resistência inferior à das placas, mostrados na Figura 1. A resistência desse conjunto a flexão, em certas condições, pode ser muito maior que a de uma placa maciça, constituída do mesmo material e de mesma densidade que as duas faces do sanduíche.

De acordo com Callister (2002), um compósito estrutural é composto tanto de materiais homogêneos como de materiais heterogêneos ou compósitos, cujas propriedades dependem não somente das propriedades dos materiais constituintes, mas também do projeto geométrico dos elementos estruturais.

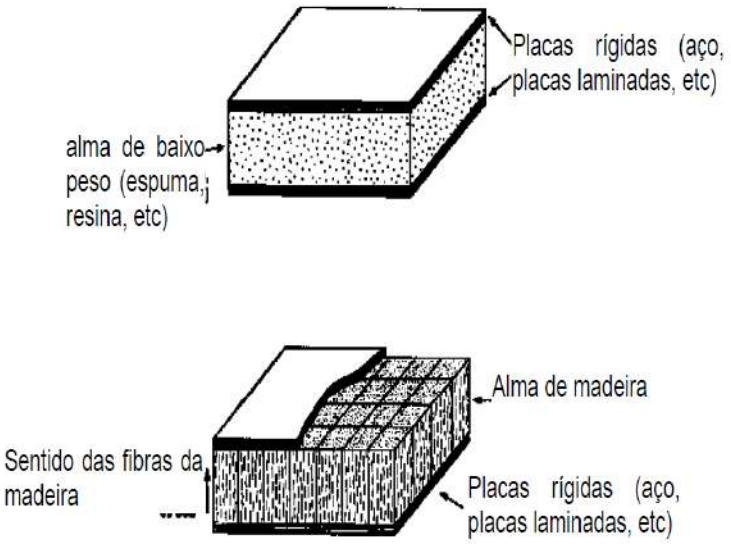



Figura 1. Estruturas Sanduíche com Faces Rígidas e Núcleo de Baixa Densidade
Fonte: Allen (1969)

As faces deste tipo de painel podem estar unidas através de um adesivo ou em casos onde o núcleo é de espuma rígida de poliuretano, por exemplo, a união ocorrerá pelo próprio poliuretano. Existe a possibilidade de utilização de

diversos materiais (faces, núcleos, adesivos) para fabricação de uma estrutura sanduíche, dependendo da finalidade, e das propriedades mecânicas distintas de cada material.

### 2.2 Especificações do Novo Conceito

Convencionalmente, as portas dos veículos compreendem uma chapa metálica externa e uma chapa metálica interna solidarizada mediante soldagem ou adesivo, com região interna oca e apresentando os mecanismos das ditas portas. Para dar resistência ao conjunto, uma estrutura formada por tubos de alumínio, normalmente com demissões de 30x30mm, é centralizada entre as faces para garantir resistência mecânica, conforme mostrado na Figura 2.

A montagem deste conjunto é realizada em diversas bancadas e por mais de um operador. Primeiramente monta-se a estrutura tubular com a utilização de solda e, em uma bancada de mesa, lixa-se os "caroços" resultantes da mesma. O segundo passo é centralizar a estrutura na chapa externa e fixa-la através de adesivagem, adicionando também a chapa de fechamento interno e fixando-a da mesma maneira. Para finalizar acrescentam-se os mecanismos para abertura e fixação com a carroceria, concluindo assim, o processo de produção da portinhola.

O conjunto completo da portinhola, com todos seus componentes, possui um peso aproximado de 28 kg.

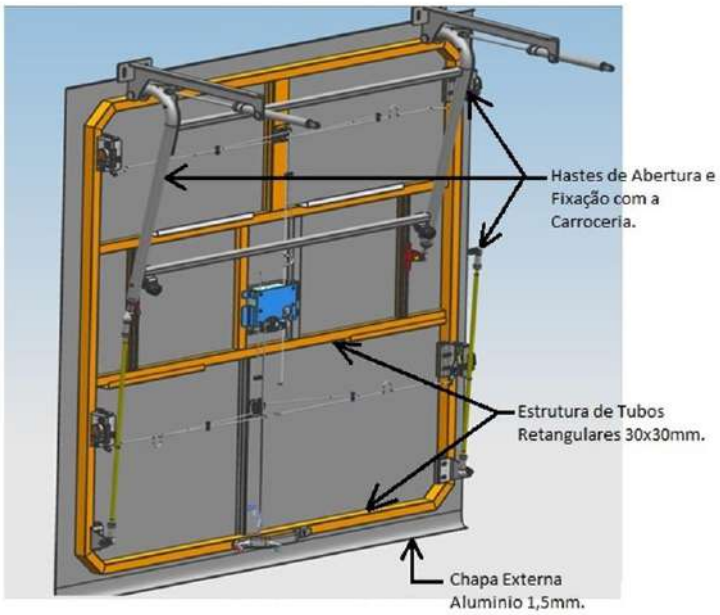



Figura 2. Portinhola Convencional

No entanto, a fim de maximizar as propriedades mecânicas de resistência ao impacto e rigidez, e prover isolamento térmico e acústico, a inclusão de um núcleo é particularmente relevante, mas geralmente agrega peso à estrutura, o que pode gerar problemas de nivelamento da abertura.

Dessa forma, o novo modelo de portinhola trata-se de uma estrutura compósita do tipo sanduiche para aplicação em porta de veículos que não agrega peso à estrutura, incluindo um núcleo inercial de baixa densidade e faces externas compostas por estruturas rígidas, com uma moldura interna que garante rigidez mecânica às bordas do painel.

A fim de melhor descrever as características técnicas da estrutura compósita do tipo sanduiche para aplicação em portas de veículos, a Figura 3 apresenta a vista explodida evidenciando os elementos da estrutura compósita. O conjunto da estrutura dá-se por um par de chapas externas de material não ferroso dispostas, sobrepostas e intervaladas por uma moldura de alumínio para posicionamento do núcleo inercial, apresentado sobre a forma de células hexagonais de poliuretano.

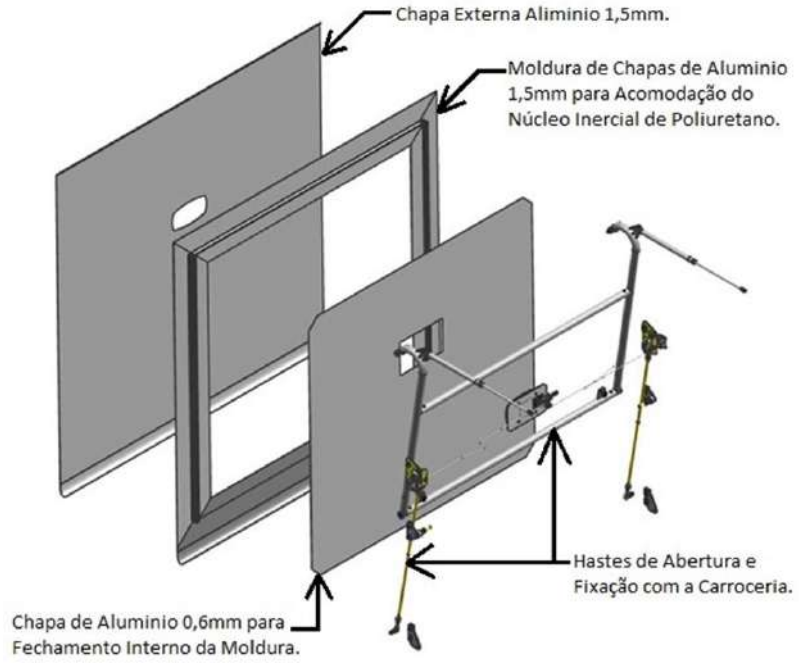



Figura 3. Vista Explodida Evidenciando os Elementos da Estrutura Compósita

Para um melhor entendimento do quão simples é o novo conceito e seu procedimento de montagem, a portinhola é apresentada de forma que: a moldura de alumínio é alinhada e fixada na superfície interna da chapa externa através de adesivagem, o que prevê resistência estrutural e rigidez mecânica às bordas do painel. Sobre a moldura é inserido o núcleo inercial de poliuretano, também através de adesivagem, o qual deve preencher totalmente o espaço disponível para manter o afastamento das faces sendo suficientemente rígido na direção perpendicular a elas para evitar o esmagamento. Para finalizar e formar a estrutura sanduiche, a chapa interna de fechamento da moldura é também centralizada sobre a mesma e, da mesma forma, fixada por adesivagem, garantindo um conjunto com ótimas propriedades mecânicas, de baixíssima densidade e alta resistência à flexão.

Com a portinhola montada, acrescentam-se as hastes de abertura e fixação, com isso obtem-se a portinhola completa conforme apresentado na Figura 4. Preferencialmente o adesivo é selecionado dentre adesivos estruturais, tais como epóxi, acrílico ou o próprio poliuretano. Para vedação das bordas da portinhola na instalação da carroceria, são previstos perfis elastoméricos fixados na estrutura do bagageiro que juntamente com a moldura, proveem eficiente vedação.

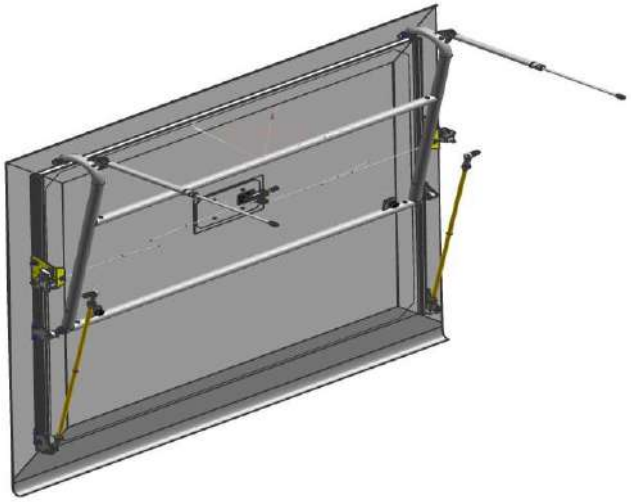


Figura 4. Montagem da estrutura compósita do tipo sanduiche para aplicação em portas de veículos

O novo modelo pode ser produzido em uma única bancada, pois não utiliza solda, eliminando assim um processo de montagem e a necessidade de mais operadores. O conjunto possui um peso total aproximado de 21 kg, apresentando-se cerca de 7 kg mais leve que o modelo convencional.

Com relação ao custo, levando-se também em consideração o preço de cada componente e o preço de mão de obra utilizado para produção da mesma, esse novo conceito apresenta uma redução considerável de entorno de 44 % com relação ao modelo de portinhola convencional.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validação do conceito proposto foram realizados testes de montagem e prototipagem da estrutura compósita de tipo sanduiche para portinhola de ônibus.

Primeiramente posicionou-se a chapa externa de alumínio (1) para que a moldura de alumínio (2) pudesse ser centralizada sobre a mesma. Depois disso, foi possível adicionar o poliuretano dentro da moldura de alumínio (2) e concluir a estrutura sanduiche utilizando a chapa de alumínio para fechamento externo (3). Esse procedimento faz com que as chapas de alumínio externa e interna abrangem o núcleo inercial de poliuretano de baixa densidade e sejam adesivadas pelo mesmo, conforme mostra a Figura 5 A e Figura 5 B.

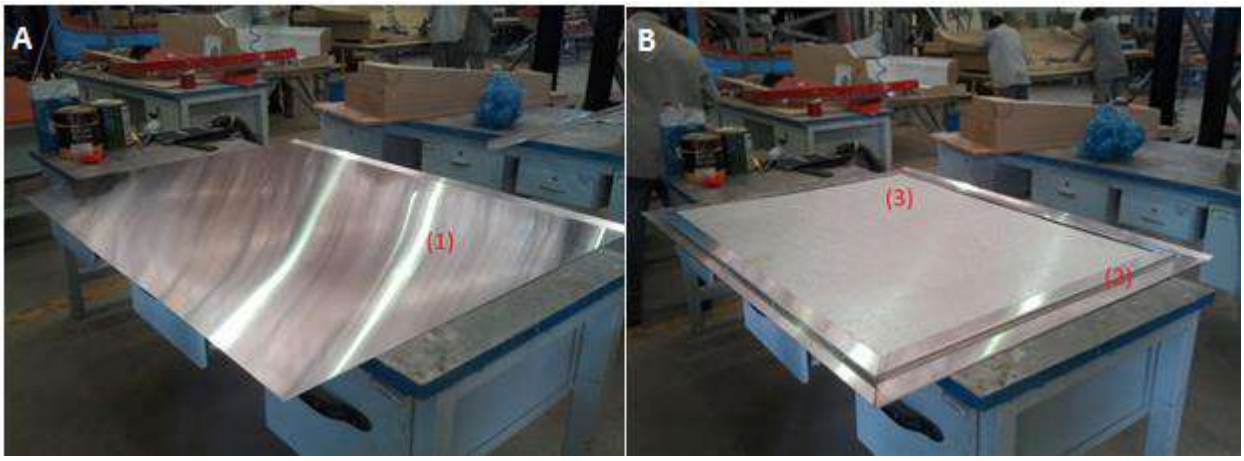



Figura 5. Em A) Posiocionamento da chapa de alumínio externa. Em B) Prototipagem das faces externas, moldura e o núcleo inercial

A próxima etapa foi montar os mecanismos de abertura na portinhola. Realiza-se o recorte para o puxador central e posicionam-se as hastes de abertura padrão já existentes, conforme mostra a Figura 6 A e Figura 6 B.




Figura 6. Em A) Recorte para o posicionamento do puxador central. Em B) Montagem das hastes e mecanismos de abertura padrão.

Com todos os componentes da portinhola montados, realizou-se o teste de montagem da mesma na carroceria para verificar seu desempenho com relação à abertura, isolamento acústico e principalmente vedação, conforme representado na Figura 7.



Figura 7. Montagem da portinhola na carroceria

Os testes práticos foram realizados com base na fundamentação teórica. Os resultados obtidos atenderam as expectativas pré-estipuladas pelo modelo, tais como, maior facilidade de manuseio, menor tempo de produção, menor peso, um menor custo e uma vedação completa do bagageiro, desempenhando sua função de maneira satisfatória.

Conforme Gay et al. (2002), experiências mostraram que ao se substituir peças produzidas com materiais tradicionais por materiais compostos, há uma redução de peso variando de 10% a 50%, e uma redução de custos em cerca de 10% a 20%. Neste caso o resultado obtido foi uma redução de peso de aproximadamente 33% e uma redução de custo, levando-se em consideração o preço de cada componente e também o preço de mão de obra utilizada, que neste caso é de menor tempo, chegando em aproximadamente 55%.

## 4. CONCLUSÕES

Com a elaboração do trabalho é possível analisar que projetos desenvolvidos utilizando estrutura sanduiche podem ser de grande utilidade em várias áreas da indústria, podendo substituir diversos produtos com um ganho em qualidade, redução de peso e facilidade no processo de montagem.

O conceito apresentado atende perfeitamente as expectativas pré-estipuladas, agregando um menor tempo no processo de montagem, diminuição do peso final, redução de custo material e principalmente custo de produção e garantindo um modelo de portinhola de manuseio simples, com isolamento térmico e acústico que garante uma perfeita vedação e proteção ao bagageiro do ônibus. Esses ganhos só aumentam a qualidade final do produto ônibus.

Como qualquer nova implantação em uma linha de montagem, o novo conceito ainda precisa ser firmado através de testes mecânicos e principalmente práticos observando-se, por exemplo, como o mesmo comporta-se em campo, estando montado em um ônibus que roda diariamente durante um grande período de tempo. As práticas de projeto de Engenharia buscam evitar a ocorrência de alguns tipos de dano mediante o correto dimensionamento dos componentes estruturais para suportar as condições de funcionamento previstas. Adicionalmente, deve-se levar em conta que vários produtos industriais são projetados e construídos para funcionar dentro de alguns limites que, uma vez excedidos, podem resultar em danos.

Assim sendo, conforme Grondel et al. (2004), dado o crescente interesse no uso de materiais compostos em diversos setores da indústria, notadamente no setor de transporte de passageiros, no qual os requisitos de segurança são extremamente rigorosos, especial interesse tem sido dedicado ao uso de técnicas de monitoramento da integridade de estruturas constituídas por este tipo de material.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALLISTER, W.D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. LTC – Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 5a. Edição. 2002.

GAGLIARDO, D. P; MASCIA, N. T. "Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto." Ambient. constr. (Online) vol.10 no. 4 Porto Alegre Oct./Dec. 2010. Disponivel em: http://www.scielo.br/scielo. php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212010000400017. Acesso em: 19/08/2013.

GAY, D.; HOA, S.V.; TSAI, S.W. "Composites materiais: design and applications". 4 ed. CRC Press, Paris, FR, ISBN: 1-58716-084-6. 2002.

GRONDEL, S., ASSAAD, J., DELEBARRE, C., MOULIN, E. "Health Monitoring of a Composite Wingbox Structure". Ultrasonics, vol. 42, p. 819-824. 2004.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DE CARRETA ARROZEIRA COM SISTEMA DE TRANSMISSÃO HIDROSTÁTICA

**Marcio Walber**
**Gustavo Fraga Streck**
**Eduardo Gabriel Talamini**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
mwalber@upf.br; gfragastreck@gmail.com; 151962@upf.br

***Resumo**: As carretas arrozeiras disponíveis no mercado são basicamente iguais, o que difere uma marca da outra são os materiais utilizados na caixa de armazenamento e o método de escoamento dos grãos. Este trabalho mostra o projeto detalhado de uma carreta arrozeira com transmissão hidrostática junto ao eixo, ou seja, auto propelida, a bibliografia apresenta um estudo sobre o funcionamento desse tipo de transmissão contendo suas vantagens e desvantagens, características do equipamento a serem utilizados na composição da mesma, após são feitos os cálculos necessários para o projeto e finalizando é realizado o modelamento do equipamento com a transmissão.*

***Palavras Chave:*** Projeto, Carreta Arrozeira, Transmissão Hidrostática.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a agricultura passa por um processo continuo de evolução, a chamada "Agricultura de Precisão" que é o objetivo da maioria dos produtores. Com isso todos os equipamentos utilizados no manejo, desde o preparo do solo, até a colheita devem oferecer um rendimento considerável. Dentro desse contexto um equipamento que embora sendo relativamente simples, tem vital importância no escoamento de grãos desde a colheitadeira até o caminhão ou depósito é a carreta transportadora arrozeira. Este trabalho apresenta um aperfeiçoamento nesse equipamento.

A carreta projetada tem capacidade para cento e vinte sacas, para tratores com potência entre 100HP e 140HP, e terá, como diferencial, algo inexistente no mercado, que é a utilização de motores hidráulicos junto a seu eixo, funcionando como tração auxiliar em situações que o trator necessite de auxilio para transpor as dificuldades do terreno. Com isso perdas de tempo e dificuldade no escoamento dos grãos dentro da lavoura serão coisas do passado.

Esse recurso já é utilizado em outros equipamentos agrícolas, como os pulverizadores (Uniport), trações de colheitadeiras de alto rendimento, sendo muito elogiada devido a sua simplicidade de funcionamento e também pelo pouco espaço necessário para sua instalação, além de eliminar correias, correntes e caixas de transmissão.

Para a realização desse trabalho será feito um estudo do funcionamento desse tipo de transmissão e dos modelos de motores e bombas hidráulicas disponíveis no mercado, os devidos cálculos necessários, para então chegarmos aos modelos que serão utilizados no projeto.

## 2. PARÂMETROS PARA O PROJETO

De acordo com os parâmetros impostos pelos tratores selecionados (de 100 até 140Hp) para a utilizarem a carreta, deve-se encontrar uma bomba que gere pressão e vazão necessárias ao funcionamento dos motores hidráulicos, e que opere em uma faixa de rotação de 540 rpm.

Quanto ao motor hidráulico escolhido para o referido projeto deve atender as exigências do serviço cotidiano com o objetivo de melhorar o desempenho da carreta arrozeira (Figura 1) em solos alagados, como no cultivo de arroz irrigado. O modelo escolhido deverá adaptar-se a alimentação da bomba selecionada, ter facilidade para instalação, além de torque e potência suficiente para movimentar o reboque com as seguintes características:

- Rotação da tomada de potência (trator): 540 rpm
- Peso bruto total da carreta: 98100 N
- Capacidade volumétrica aproximada: 10500 l

- Diâmetro dos aros da carreta: 26 Pol.
- Pneu: 23.1-26



Figura 1: Exemplo de carreta arrozeira (Agrimec, 2007)

## 3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Será apresentada a seguir uma lista dos equipamentos que serão utilizados, selecionados de acordo com os cálculos realizados. São mostradas, respectivamente, as especificações da válvula difusora de fluxo, da bomba, do motor hidráulico e do filtro.

### 3.1 Bomba hidráulica

A bomba selecionada é da marca Parker modelo PGH TC5 TN100 (Figura 2), é do tipo de engrenamento interno e volume de deslocamento constante, o critério de seleção foi baseado em cálculos, os quais indicam que a bomba deva suprir uma vazão de 120 (l/min) uma pressão de 200 (bar), levando-se em conta também a rotação da tomada de potencia do trator de 540 (RPM), o qual enviara a potencia necessária para o funcionamento da bomba, que consequentemente suprirá os dois motores hidráulicos instalados em cada roda da carreta arrozeira.



Figura 2: PGH TC5 TN100 (Parker, 2008)

### 3.2 Motor Hidráulico

Os motores junto com a bomba hidráulica exercem o papel mais importante nesse projeto, levando-se em conta, o peso conjunto/capacidade de carga, como foi descrito nos cálculos, o motor hidráulico deverá ter no mínimo um torque de 6478,52 (Nm). Cumprindo esse quesito, outro ponto também foi avaliado, a facilidade de adequação no sistema então partiu da ideia primeiramente de utilizarmos um equipamento mais simples, que nos supriria apenas o torque necessário, porém essa ideia foi descartada, devido à necessidade da utilização de um acoplamento elástico, unindo o eixo da roda com o motor hidráulico. O que impediu de seguir em frente, foi a dimensão necessária para acomodar o diâmetro do equipamento, e o elevado peso do mesmo, tornando-se inviável a utilização no projeto.

Descartada essa ideia, parte-se para a utilização de um equipamento que une um motor hidráulico junto com mancais e todo o sistema necessário para a transferência de potência do motor para a roda motriz. O modelo é o HIDROTRAC GFT 0009 T2 2000/1 (Figura 3) produzido pela Rexroth, possui um torque máximo de 9500 (Nm) e é um equipamento especialmente desenvolvido para ser utilizado diretamente em rodados de equipamentos. O motor utilizado nesse sistema é do tipo de prato inclinado e êmbolos axiais.



Figura 3: Equipamento HIDROTRAC GFT 0009 T2 2000/1 (Rexroth, 2008)

### 3.3 Válvula

O sincronismo de funcionamento dos dois motores hidráulicos é de vital importância para o correto funcionamento do sistema. Então, optou-se pela utilização de uma válvula do tipo divisora de fluxo 50/50, a qual receberá uma vazão de 120(l/m) diretamente da bomba, e enviara 60(l/m) para cada motor hidráulico.

O modelo selecionado é fabricado pela Brand Hidraulics do tipo B100-24SAE (Figura 4).



Figura 4: B100 24SAE (Brand Hidraulics, 2008)

### 3.4 Reservatório

O reservatório deverá ter uma capacidade de armazenamento de 360 (l), ou seja, três vezes a vazão da bomba. Por ser um componente geralmente produzido de acordo com a necessidade do cliente, a Figura 5 mostra um modelo padrão de reservatório a ser utilizado.



Figura 5: Reservatório de óleo hidráulico

### 3.5 Filtro

A utilização de filtros é de extrema importância em um circuito hidráulico, pois, deve-se manter o fluído com o mínimo possível de contaminantes, além disso, a carreta projetada funcionará em um ambiente severo, onde poeira, lama e água estão presentes.

Nota-se então que a seleção correta do filtro evitará que futuramente os demais equipamentos do circuito, como bomba e motores venha falhar, tornando todo o investimento inutilizável.

Sendo assim, será instalado o filtro na linha de retorno do circuito, local onde a queda de pressão menos prejudica o sistema. O filtro utilizado é fabricado pela Parker, modelo 50P (Figura 6), projetado para suportar uma vazão máxima de 377 (l/m), ou seja, três vezes a vazão bomba, aplica-se a mesma regra utilizada para dimensionamento do reservatório, e uma pressão máxima de 344 (bar), além disso, é o filtro indicado pelo fabricante para ser utilizado em

circuitos de transmissões hidrostáticas, até mesmo na linha de pressão, exercendo sua função também com o fluxo invertido.



Figura 6: Filtro modelo 50P (Parker, 2008)

## 4. MODELAMENTO TRIDIMENSIONAL DO SISTEMA

Este capítulo tem por objetivo apresentar o modelamento do projeto do sistema de transmissão hidrostática para carreta arrozeira, será apresentado um modelamento simplificado do chassi e estrutura da carreta.

Em relação aos detalhes referentes ao sistema de transmissão, estes serão modelados de forma coerente com as dimensões fornecidas pelos equipamentos selecionados, sendo o modelamento utilizável para tornar apta uma carreta comercial a receber a transmissão projetada.

Na Figura 7 apresenta-se uma visão geral do projeto realizado, onde cada equipamento está localizado em seu devido lugar. Pode-se visualizar o reservatório fixado em sua base, a qual é a mesma que suporta a bomba hidráulica, tal suporte é soldado no cabeçalho da carreta. Do mesmo modo o filtro de retorno de óleo é fixado no cabeçalho com dois parafusos M12. O chassi do equipamento também foi modificado (Figura 7), recebeu um suporte soldado, que é responsável pelo acoplamento fixo do motor hidráulico.

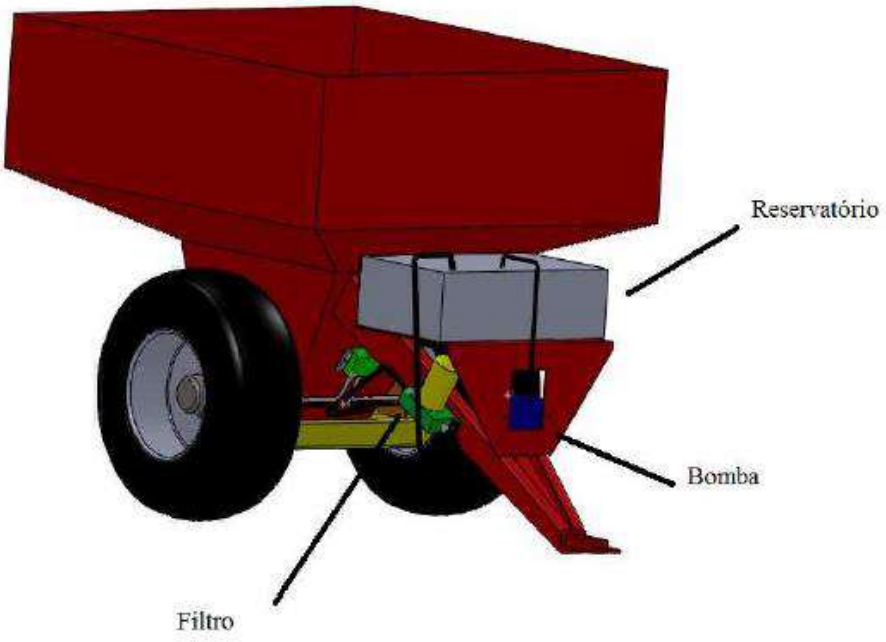



Figura 7 - Projeto final

Para facilitar a visualização de um dos motores hidráulicos foi feita uma vista explodida da carreta (Figura 8), na qual pode se visualizar como é feito o acoplamento do motor com a roda e com o chassi adaptado, são utilizados parafusos M16 na interface roda/motor, e M14 no acoplamento motor/chassi.

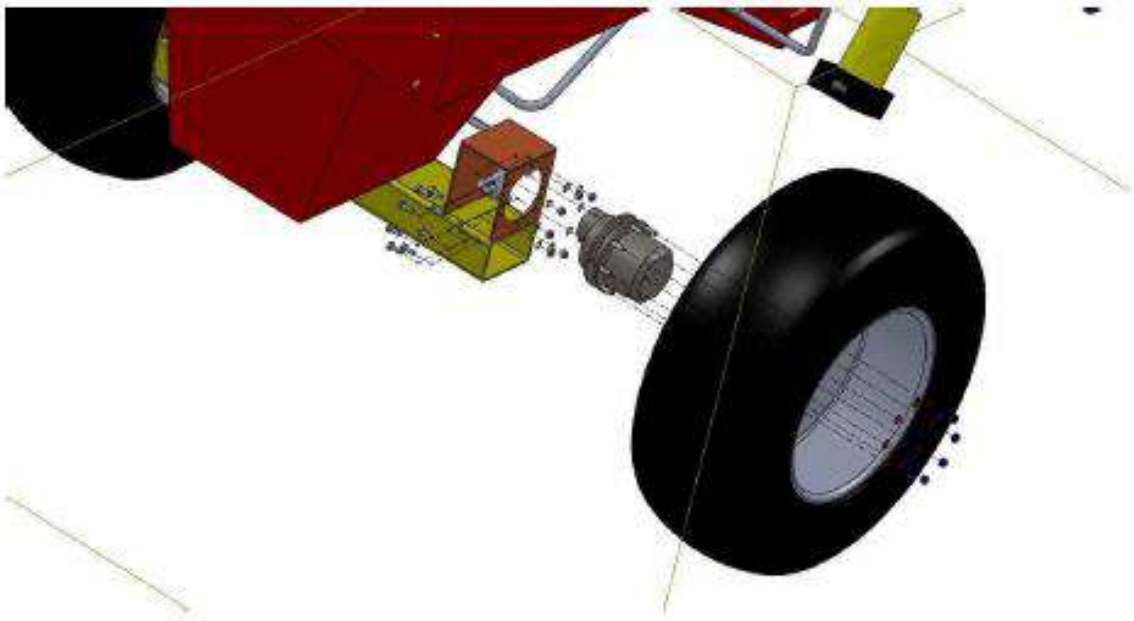


Figura 8 - Vista explodida

Na Figura 9 pode se visualizar com mais precisão os equipamentos hidráulicos utilizados, inclusive a válvula divisora de fluxo, que é fixada na chapa externa do graneleiro por dois parafusos M12.

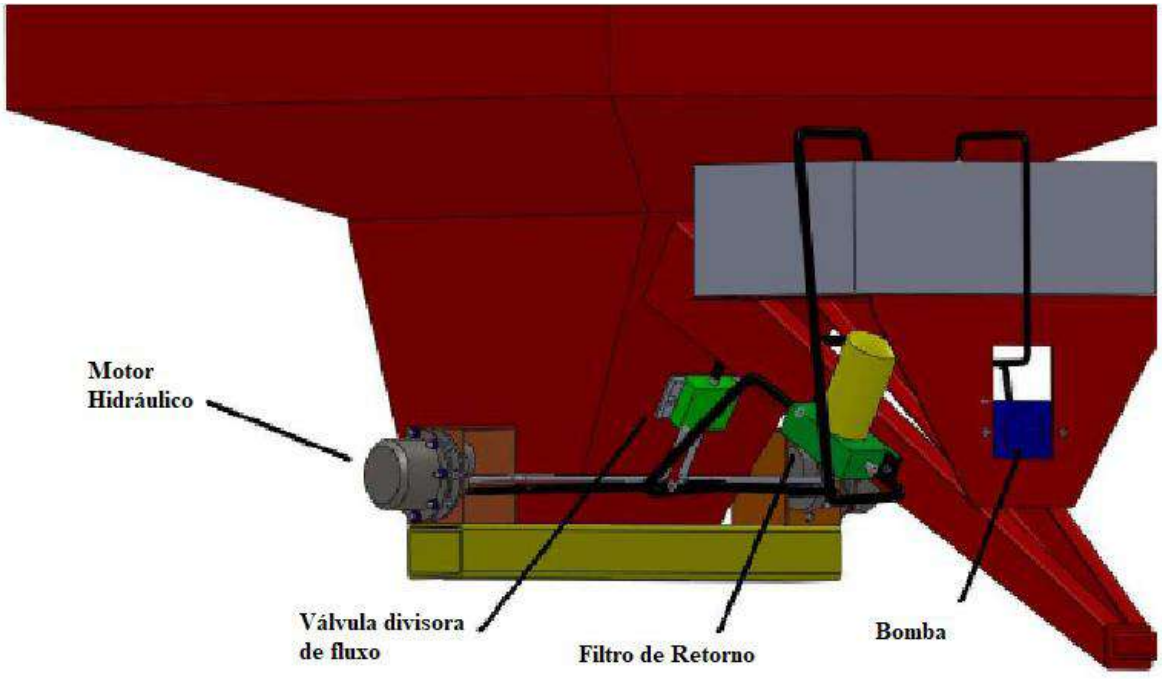



Figura 9 - Chassi adaptado

Para compreender melhor o esquema hidráulico, todos os demais itens foram ocultados (Figura 10). A seta laranja indica a linha de pressão, que inicia-se na bomba, chega até a válvula divisora de fluxo, e esta envia o óleo em quantidades iguais aos dois motores hidráulicos, situados, um em cada roda.

A seta amarela indica a linha de retorno, ou de baixa pressão do fluído, na qual, ambos os motores reenviam o óleo utilizado novamente ao reservatório, completando o ciclo, antes de chegar ao depósito, este fluído é filtrado para evitar que partículas de poeira ou de ferro, danifiquem o sistema.

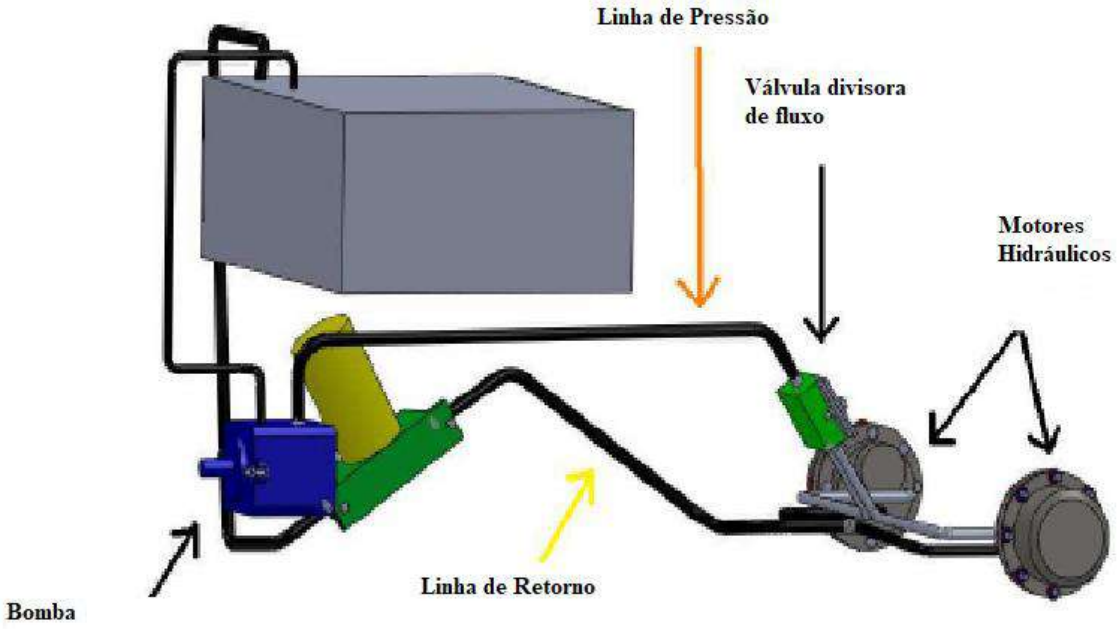



Figura 10 – Equipamentos hidráulicos

A Figura 11 apresenta uma vista frontal da carreta arrozeira.

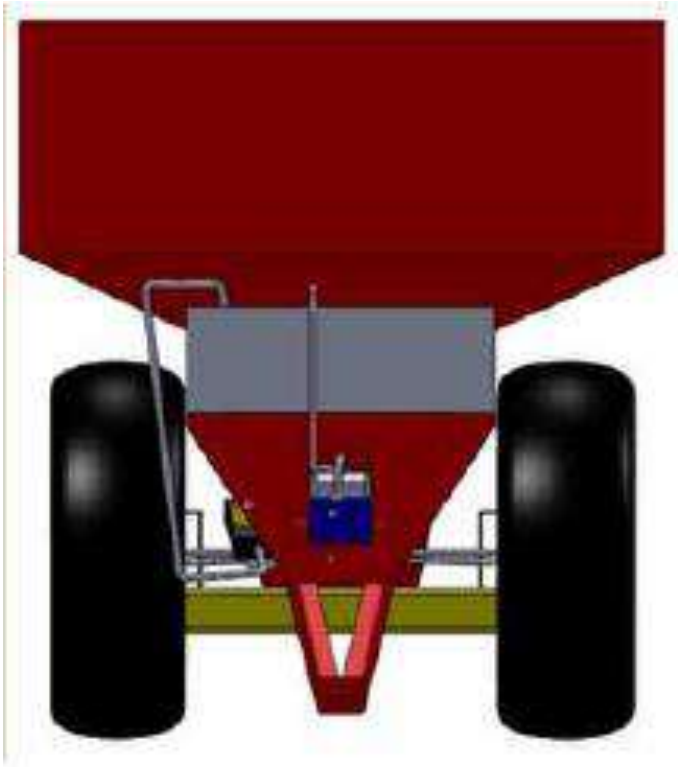


Figura 11 – Vista frontal

### 4.1 Organograma do circuito hidráulico

Todo equipamento hidráulico possui uma simbologia conforme normas internacionais, por isso em todo projeto hidráulico deve constar um esquema ou layout de acordo com tais normas. Na Figura 12, é apresentado esquema de funcionamento da transmissão hidrostática projetada.

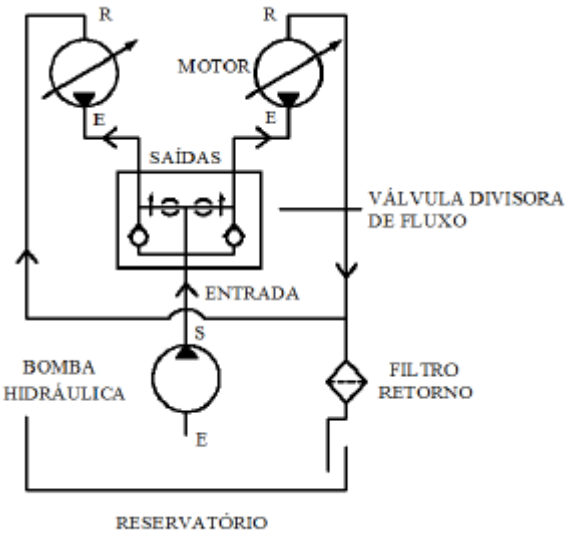



Figura 12 – Esquema de funcionamento da transmissão hidrostática

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se apresentar o projeto de uma carreta arrozeira utilizando um sistema de transmissão hidrostática. Primeiramente foi feito um estudo e revisão bibliográfica para entender o funcionamento da tomada de potência dos tratores agrícolas (fonte de potência) e dos equipamentos necessários para constituir uma transmissão do tipo hidrostática. A partir desse estudo as variáveis foram atribuídas e iniciaram-se os cálculos necessários para a seleção dos equipamentos a serem utilizados, tais como, bomba, motores hidráulicos, filtro, válvula e reservatório. Após, foi realizada a modelagem tridimensional utilizando software CAD, na qual foram detectadas as possíveis interferências de montagem.

Acredita-se que com o projeto desenvolvido será possível comprar os equipamentos selecionados, realizar as devidas alterações na carreta e fazer a montagem do referido sistema de transmissão. Contudo, é importante ressaltar que algum ajuste poderá ser necessário quando o equipamento for colocado em uso, pois como todo projeto somente no campo as reais dificuldades são apresentadas.

A carreta projetada utilizando um sistema de transmissão hidrostática será muito útil quando colocada em prática, pois esse tipo de transmissão é uma grande alternativa para a área agrícola, e a carreta apresentará uma vantagem inexistente as demais carretas convencionais. O agricultor ao implantar essa carreta com característica ímpar ganhará agilidade, maior conforto ao operador, confiança e garantia ao escoar sua safra em terrenos extremamente lamacentos. Eliminando situações como o atolamento, o qual, implica em atraso na logística da colheita.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIMEC EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS. Disponível em www.agrimec.com.br. Acesso em 05/04/2018 às 11:00 hs.

BOSCH REXROTH. Disponível em www.rexroth.com.br. Acesso em 13/05/2018 às 15:00 hs.

BRAND HYDRAULICS. Disponível em www.brandhydraulics.com. Acesso em 23/05/2018 às 23:00 hs.

PARKER EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS. Disponível em www.parker.com.br. Acesso em 22/04/2018 às 14:00 hs.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO PARA UMA EMPRESA DE PEDRAS PRECIOSAS

**Filipe José Fernandes Gualberto de Araújo**
**Ricardo Bonatto**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS:99052-900
112672@upf.br, rbonatto@upf.br, mwalber@upf.br

***Resumo:*** *Com o aumento do uso de máquinas pneumáticas, o ar comprimido vem sendo amplamente utilizado na indústria, aplicado em inúmeros processos onde necessita força e movimento. Sendo o ar uma importante fonte de energia, este trabalho buscou projetar uma rede de ar comprimido, dentro das Normas e Legislações ambientais em vigor, tendo como objetivo suprir as necessidades de uma empresa de pequeno porte. O projeto visou selecionar através das características e das diferentes utilidades, quais os compressores mais adequados e também o dimensionamento da rede de distribuição de ar, assim como a viabilidade de implementação de cada uma delas. O presente estudo foi aplicado em uma empresa de pequeno porte inserida no ramo de exportação de pedras preciosas, na qual sua atividade principal é pintura e lapidação das pedras. A mesma, após a aprovação da viabilidade, terá uma rede industrial de ar comprimida implantada, na qual as necessidades da empresa deverão ser supridas, ou seja, uma rede de ar comprimido sem sujeiras e umidade para uma melhor qualidade do produto. Para a realização do trabalho foram realizados cálculos de dimensionamento e desenhos com layout da rede de ar comprimido, baseados nas informações obtidas através da literatura e dados, tais como: seleção das máquinas que farão uso do ar comprimido, comprimento e diâmetro das tubulações.*

**Palavras-chaves:** Ar comprimido; Compressor; Dimensionamento; Pneumáticas.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso do ar comprimido, já muito usado nas indústrias, se justifica pela importância que têm como fonte de energia em diversas áreas de aplicação. Segundo Parker (2007), este método de fonte de energia vem sendo utilizado para racionalização do trabalho e economia, encontrando cada vez mais campos de aplicações na indústria, assim como a água e energia elétrica.

O mesmo autor mostra que a utilização do ar comprimido adquiriu importância somente na metade do século XIX, porém relatos no antigo testamento são encontradas diversas referências do seu uso na fundição de prata, ferro, chumbo e estanho. Há mais de 2000 anos os técnicos construíam máquinas pneumáticas, eles produziam energia pneumática através de pistão e como instrumento de trabalho utilizavam um cilindro de madeira dotado de êmbolo.

Para chegar nos dias de hoje um longo caminho foi percorrido, sempre tendo como objetivo controlar a força do ar e faze-la trabalhar quando necessário. Atualmente, encontrou-se o controle desta fonte de energia obtendo os melhores graus da eficiência, executando operações sem fadiga, economizando tempo, ferramentas e matérias, além de fornecer segurança ao trabalho (PARKER, 2007).

No presente trabalho, buscou-se, através da metodologia desenvolver um dimensionamento de uma rede de ar comprimido em uma empresa de pequeno porte na cidade de Soledade-RS. Tal empresa não possui um sistema de ar comprimido em sua unidade o que facilitaria a mão de obra e aumentaria a eficiência.

O uso do ar comprimido além de utilizado na indústria pode também ser usado em vários setores da atividade econômica como, mineração, agricultura, transportes e saneamento básico. Esta vasta aplicação

se deve ao fato do ar comprimido ter características únicas, entre elas esta, o armazenamento, a segurança para uso, facilidade de controle e simplicidade (FILIPPO, 2015).

Sua aplicação também pode ser encontrada no controle de escoamento de fluidos, produção de sprays para pintura, jatos de ar para limpeza ou secagem de superfícies ou até mesmo como elemento pressurizador, como no caso da calibragem de pneus. Estas instalações podem ser moveis e usadas, por exemplo, na construção civil, ou estacionarias, mais comuns nas indústrias (FILIPPO, 2015).

Para completar, Eletrobrás (2005), informa que a utilização do ar comprimido é diretamente proporcional ao consumo de energia elétrica. Assim, pode-se dizer que o ar comprimido é o ar capacitado a realizar trabalho, ou seja, perda de ar comprimido é perda de energia elétrica.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Após o estudo descritivo feito na empresa, identificado o grau de necessidade da implementação de um sistema de ar comprimido, é necessária uma lista de requisitos de devem ser levados em consideração para a criação do projeto de ar comprimido.

Estas considerações são levantadas por Rollins (2004), algumas delas segue abaixo:

- Estabelecer a capacidade necessária do compressor;
- Selecionar o número de compressores;
- Localização dos compressores;
- Determinação do tipo de compressor;
- Estabelecimento do sistema de regulagem mais adequado para o uso;
- Checagem dos sistemas de distribuição de ar comprimido;
- Checagem da localização e capacidade de armazenamento do ar;
- Estabelecimento do layout da tubulação de admissão e descarga;
- Checagem das necessidades do resfriador posterior e do separador de condensado e suas capacidades.

### 2.1 Tipos de Compressores

Devido à ampla difusão do ar comprimido na automação, é preciso uma rede de distribuição de ar, para isso um sistema pneumático é composto por uma central de compreensão, uma rede de distribuição e uma carga pneumática. Prudente (2017), explica que a central de compressão se encarrega de comprimir o ar que vem aspirado do ambiente e depois de processado, é armazenado em diversos reservatório a fim de serem distribuídos. O ar hoje é utilizado pela pneumática como fonte de energia para o seu acionamento, Fialho (2015), salienta que a pressão adequada é obtida pelo compressor, enquanto a qualidade é adquirida através de etapas como secagem e filtragem, já comentadas anteriormente.

Há dois princípios conceptivos de compressores, o volumétrico e o dinâmico também chamado de turbocompressores. Fialho (2015), seleciona como compressores mais usados industrialmente os de palhetas, de parafusos, de lóbulos, centrífugos e axiais. Para um melhor entendimento, a Figura 1 exemplifica os compressores conforme seus princípios conceptivos.

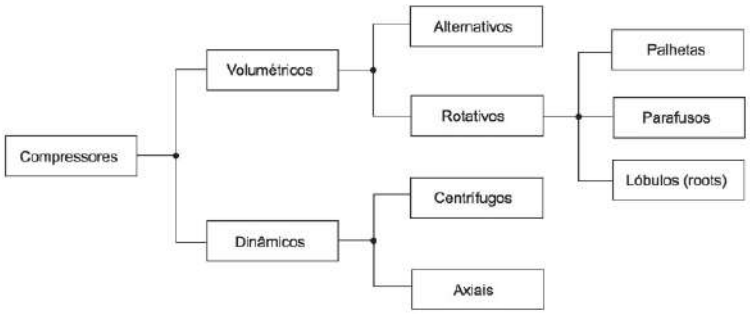



Figura 1. Cadeia de compressores

A escolha do compressor é determinada por diversos fatores, um deles é a demanda de ar comprimido necessária para suprir os mecanismos. Na tabela abaixo temos um resumo de cada tipo de compressor, seu diagrama funcional, a pressão que cada um trabalha e o volume de fluxo ($m^3/h$).

### 2.2 Definição das tubulações

Após a definição dos compressores, é a vez da escolha das tubulações que serão utilizadas no sistema. O Quadro 1 mostra um resumo de equivalências de peças ou acessórios que devem ser contadas no comprimento da tubulação, sabe-se que uma rede mal dimensionada ocasiona perdas relevantes. Cada peça, ou acessório utilizado na rede representam um valor de perda, por isso da influência dessas peças no dimensionamento da rede.

Quadro 1. Tubulações em análise

| Peças ou acessórios | Correspondente ao comprimento linear em metros | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Para diâmetros nominais de tubos ou peças | | | | | | |
| | DN 25 | DN 40 | DN 50 | DN 80 | DN 100 | DN 125 | DN 150 |
| Válvula de parada "shut-off" | 8 | 10 | 15 | 25 | 30 | 50 | 60 |
| Válvula de membrana | 1,2 | 2 | 3 | 4,5 | 6 | 8 | 10 |
| Válvula de abertura | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Cotovelo 90º | 1,5 | 2,5 | 3,5 | 5 | 7 | 10 | 15 |
| Cotovelo curvo 90º - R = d | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Cotovelo curvo 90º = R = 2d | 0,15 | 0,25 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1 | 1,5 |
| Conexão em T | 2 | 3 | 4 | 7 | 10 | 15 | 20 |
| Peça redutora D = 2d | 0,5 | 0,7 | 1 | 2 | 2,5 | 3,5 | 4 |

Definiu-se que a tubulação de 2 polegadas seria a mais adequada, pois a de uma polegada não daria vazão suficiente para o sistema.

## 3. CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Para implantação do projeto foram feitos os levantamentos dos custos da tubulação e compressores, para assim fazer a escolha adequada.

### 3.1 Tubulações

Perante aos diversos materias disponíveis no mercado, analisou-se qual seria o mais viável ao projeto e que supriria a necessidade do mesmo. Desta forma escolheu-se dois materiais para comparar valores e escolher qual seria usado no projeto. A Tabela 1 mostra o comparativo de valores dos materiais são

Tabela 1. Valores dos materiais para utilização no projeto

| Material | Valor (metro) | Quantidade (metro) | Valor total |
|---|---|---|---|
| Tubo de condução Galvanizado | R$ 32,00 | 215 | R$ 6.880,00 |
| PPR | R$ 35,00 | 215 | R$ 7.525,00 |

### 3.2 Compressor

O tipo de compressor selecionado está inserido nos compressores volumétricos rotativos e conforme Fialho (2015), este tipo de compressor possui dois rotores em forma de parafuso que giram em sentido contrário, mantendo entre si uma condição de engrenamento.

Neste tipo de compressor os parafusos geralmente trabalham de forma sincronizada e não havendo contato metálico entre eles, o uso de lubrificante é desnecessário. Com isso o ar fornecido não apresentará resíduos de óleo.

A Figura 2 mostra uma imagem do compressor selecionado e a Tabela 2 apresenta as principais informações referentes ao mesmo.




Figura 2. Compressor

Tabela 2. Informações principais sobre o compressor utilizado

| | |
|---|---|
| Custo | R$ 32.640,00 |
| Secador | Não |
| Tensão | Trifásico 220/380/440V |
| Potência do Motor | 50HP/37 kW |
| Vazão | 280-300-320pcm/7926-8496-9060 l/min |
| Filtro | Não |
| Pressão | 50-60-70 bar / 725-870-1015 psi |
| Dimensões | CxLxA: 800 x 700 x 900 mm |

## 4. RESULTADOS

O primeiro passo para começar a construir a rede de ar comprimido foi fazer o levantamento do ar comprimido, quais ferramentas iriam ser utilizados e a quantidade de ar necessária de cada item, o resultado obtido foi de uma necessidade de ar de 500m³/h. Com esse resultado alguns compressores já foram eliminados, outros dados foram analisados, como ruídos, durabilidade, grau de pureza do ar, desta forma o compressor escolhido foi um compressor do tipo parafuso onde algumas considerações foram escolhidas devido a necessidade do projeto, entre elas: o consumo de cada ferramenta; numero de ferramentas que serão utilizadas, a pressão de trabalho destas ferramentas, a intensidade de uso, e a previsão de aumentar o número de ferramentas a médio ou longo prazo.

O segundo passo foi verificar qual o material seria utilizado no projeto. Neste caso vários pontos foram levados em conta, entre eles a durabilidade, eficiência energética, perda de carga, resistência a corrosão, vazamentos e tempo de montagem. O melhor custo x beneficio foi o material PPR, com um custo muito próximo aos tubos de aço galvanizado, o material de PPR possui muito mais vantagens nos quesitos citados acima. Serão utilizados em torno de 215mt de tubo PPR e terá um custo aproximado de R$7.525,00. Também através dos cálculos entendeu-se que a tubulação de 2” (duas polegadas) seria a melhor escolha.

O layout escolhido foi o fechado com somente uma direção de ar, tomando cuidado para ter o menos possível de curvas e reduções para diminuir a perda do ar. Além disso o projeto terá um reservatório de ar

e um filtro, pois o ar que será usado na pintura precisa ser limpo para não haver imperfeições. A Figura 3 mostra o esquema do layout.

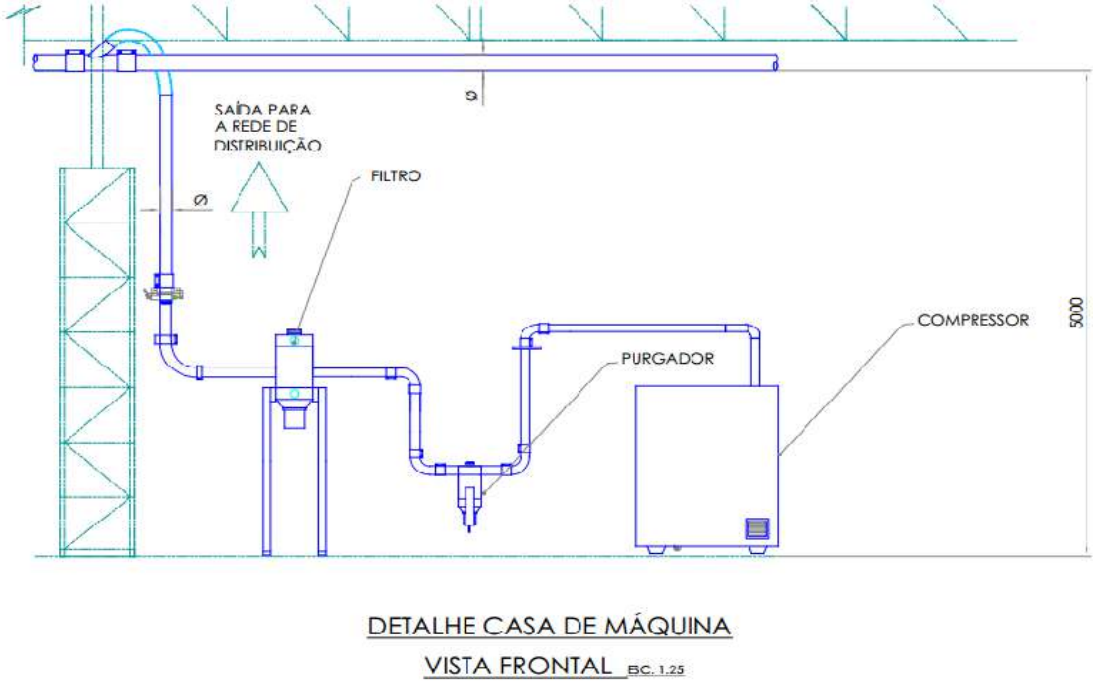



Figura 3. Layout

## 5. CONCLUSÃO

Atualmente no Brasil, existe um potencial enorme de redução de custo, simplesmente desfazendo-se de equipamentos obsoletos com custo de operação muito elevado ou produzindo fora das especificações.

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível aprimorar os conhecimentos sobre pneumática, conhecer o funcionamento de um sistema de ar comprimido em uma empresa e suas aplicações nos diversos processos de fabricação, bem como, conhecer quais os pontos de possíveis falhas e as possíveis soluções para os problemas encontrados.

Como visto anteriormente, na revisão bibliográfica, antes de se dimensionar uma rede de ar comprimido, deve-se ter o cuidado de analisar todas as condições envolvidas até o nível de qualidade exigido pelos processos, para após isso, realizar o dimensionamento do sistema de ar comprimido.

Após o cálculo da demanda de ar necessária, o dimensionamento da rede de ar comprimido teve início. Posteriormente, foi realizada a definição do tipo de compressor, analisando todos os pontos favoráveis e desfavoráveis, baseados em diagramas e tabelas, juntamente com a demanda de ar necessária para o funcionamento da empresa. Após, foi realizado o esboço do layout adequado a empresa.

Fazendo a análise de custos para implantação da nova rede de ar comprimido, foi constatado que será necessário um pequeno investimento por parte da empresa, que no momento estaria apta a investir esta quantia de dinheiro para instalação da rede, e em um futuro próximo juntamente com a chegada de novos equipamentos que necessitam de um ar com qualidade uma nova rede poderia ser implantada na empresa.

O cronograma de atividades foi cumprido, a partir desta análise de custos podemos concluir que as instalações de redes de ar comprimido devem ser bem projetadas para qualquer empresa, visando assim evitar gastos com escolhas erradas de tubulações, compressores e estragos em equipamentos devido a sujeiras e umidade no ar.

Possibilitou-se concluir que o dimensionamento da tubulação de forma correta poderá produzir ar comprimido de forma eficiente e com qualidade. A rede de distribuição será capaz de fornecer pressão e vazão suficientes para atender as necessidades do sistema, proporcionando assim um bom desempenho e uma maior vida útil aos equipamentos pneumáticos.

## 6. REFERÊNCIAS

FIALHO, Arivelto B. Automatismo pneumáticos: *princípios básicos, dimensionamento de componentes e aplicações práticas.* São Paulo: Erica, 2015.

FILIPPO,G.F. Bombas, ventiladores e compressores : *Fundamentos.*São Paulo: Érica, 2015.

PARKER TRAINING.Tecnologia Pneumática Indústrial. Jacarei, Apostila M1001_1 BR, 2007.

ROLLINS, J.P. Manual de Ar Comprimido e Gases. São Paulo: Pretince Hall, 2004.

PRUDENTE, F. Automação Industrial Pneumática: *Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro: LTC,2017.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE EQUIPAMENTO PARA PICAR E MOER OSSO BOVINO.

**Giancarlo Stefani Schleder**
**Márcio Walber**
**Charles Leonardo Israel**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
12610@upf.br; mwalber@upf.br; israel@upf.br;

***Resumo.*** *Com objetivo de gerar Pó de Osso Bovino para impressão 3D para ser utilizado em Laboratórios de Bioengenharia, Biomecânica e Biomateriais, pretende-se desenvolver o conceito de uma máquina multifuncional que compreende um picador e moinho bolas de baixo custo, utilizando as ferramentas de desenvolvimento de produtos. Visa-se utilizar peneiras granulométricas para obter partículas com dimensões inferiores a 88 µm, as quais se aplicam no compósito utilizado em impressora 3D. Pretende-se desenvolver o conceito um equipamento que faça o processo de picar o osso já liofilizado e no mesmo equipamento realizar a moagem, o modelo de moinho é baseado no equipamento da marca Solab modelo SL-36/120 que utiliza uma rotação média de 50 rpm, utilizando 30 esferas de Ø 8 mm e 80 de Ø 15 mm, sendo o processo realizado por 4 horas, visando a utilização do osso em forma de pó. O equipamento desenvolvido deverá reduzir o tempo de processamento e também o custo do produto, além, de ofertar um equipamento específico para a utilização deste processo no mercado, visando outras aplicações, como por exemplo a moagem de grãos ou cereais.*

***Palavras Chave:*** *Moinho; Pó de Osso; Impressão 3D; Projeto.*

## 1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa faz parte da área de Biomateriais do Laboratório de Bioengenharia, Biomecânica e Biomateriais da UPF, vinculada a área de Engenharia Mecânica. A estrutura do trabalho se organiza da seguinte forma: apresenta-se uma revisão bibliográfica, enfatizando osso bovino liofilizado e processos de Fabricação desta matéria prima, pois torna-se necessário a industrialização deste produto. Após tem-se a elaboração dos projetos aplicada ao trabalho, utilizando as ferramentas de desenvolvimento de produtos, com descrição da matéria-prima utilizada para a produção do pó de Osso com a característica necessária ao trabalho.

O osso é liofilizado para produzir o pó sem umidade, a liofilização consiste em secagem que atua na remoção da água através da sublimação. Ocorre quando o conteúdo líquido do material está na forma de gelo e é submetido a condições de pressões muito baixas, ocorrendo a sublimação da água sem passar pelo estado líquido. A água passa de seu estado sólido para o gasoso a temperaturas muito baixas e sem a presença de oxigênio, o que favorece as propriedades primitivas dos materiais. O passo prévio a liofilização é o congelamento, a fim de transformar as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases sendo uma constituída por cristais de gelo e a outra pela solução concentrada dos solutos. (RODRIGUES, 2011).

O processo de liofilização é avaliado por Dingee (2005) que demostrou como principais vantagens a possibilidade de armazenagem por longo período, maior redução da antigenicidade, menor risco de transmissão de doenças e mínima alteração bioquímica. Como desvantagem aponta a redução da osteo integração e da revascularização. Quanto as características mecânicas, aponta divergências, sendo que em alguns casos houve aumento do módulo de elasticidade e a resistência a tração, já em outros a resistência a flexão e o modulo de elasticidade diminuíram.

Em termos de biocompatibilidade, os materiais utilizados em enxerto ósseo são classificados como biotolerantes, bioinertes ou bioativos. Materiais biotolerantes são os que permanecem no corpo em forma de fibras encapsuladas levando a uma reação tecidual. Os bioinertes têm contato direto com o tecido ósseo adjacente sem qualquer reação química. Já os bioativos estabelecem ligações químicas com tecido ósseo adjacente, levando a deposição de matriz óssea no entorno do implante (NATH, DUBEY, BASU, 2017)

Segundo Lerner (2018), Experimentos com auxílio de impressão 3D foram realizados para geração de Corpos de Prova a base de pó de osso variando misturas de pó com ligantes para testes de resistência. Foi testada a adição de resina

de ureia e cola de madeira solúvel, um composto que gerou uma liga que após aplicada em impressão 3D apresentou boa resistência mecânica (BONE YARD, 2011).

Devido a escassez de equipamentos para o desenvolvimento do pó de osso dá-se a importância do estudo de projetar e construir uma máquina multifuncional de baixo custo, utilizando as ferramentas de desenvolvimento de produtos, o artigo tem como objetivo geral o desenvolvimento da concepção de um equipamento para picar e moer ossos bovinos, utilizando-se da metodologia de projetos proposta por Pahl *et al* (2005), composta por quatro fases, como pode ser observado na Figura. 1. A escolha por essa metodologia se deve por ela ser focada no desenvolvimento do produto, não se atendo nas fases de vendas e pós-venda, já que o equipamento será utilizado em laboratórios. Nesse trabalho apenas as duas primeiras fases da metodologia serão utilizadas, tendo assim como resultado da primeira fase a criação de uma lista de requisitos e na segunda fase a criação de uma estrutura de funções, variantes de solução e, por fim, a escolha da melhor concepção para prosseguir com o projeto.

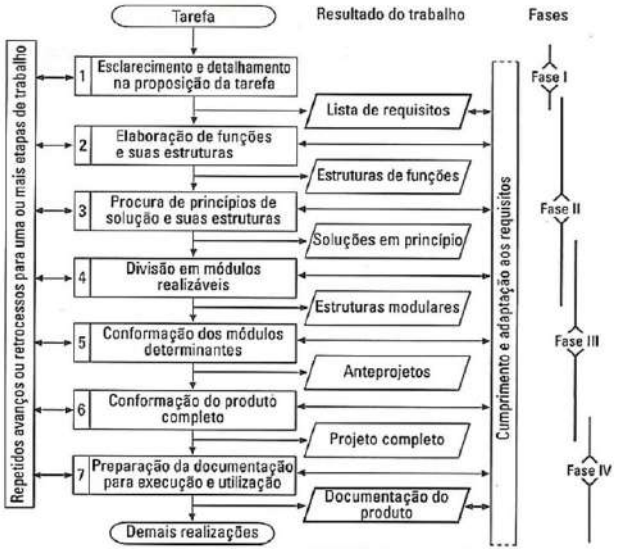



Figura 1. Metodologia de Pahl et al

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do conceito de uma máquina multifuncional que compreende um picador e moinho bolas de baixo custo, foram utilizadas as duas primeiras fases propostas por Pahl *et al*. (2005). Buscou-se com a utilização dessas fases a determinação do planejamento da tarefa a ser desenvolvida, a criação de uma lista de requisitos, as funções requeridas para o equipamento, o atendimento dessas funções e a criação de um conceito de produto que atende ao proposto.

### 2.1 Planejamento do produto

Como o equipamento será utilizado em laboratórios e ou pequenas instalações, suas dimensões devem ser pequenas, para a obtenção do pó de osso. Para a determinação dessas medidas, da altura, largura e comprimento do equipamento, utilizou-se o que foi apresentado nos trabalhos citados anteriormente. Além dessas características buscou-se acrescentar à lista de requisitos outras, que não são tão óbvias no começo do desenvolvimento de um novo produto, mas que podem ajudar o projetista a desenvolver um produto mais seguro, durável e de qualidade. Para isso utilizou-se uma adaptação da linha mestra, proposta por Pahl e Beitz (2005), Figura. 2.

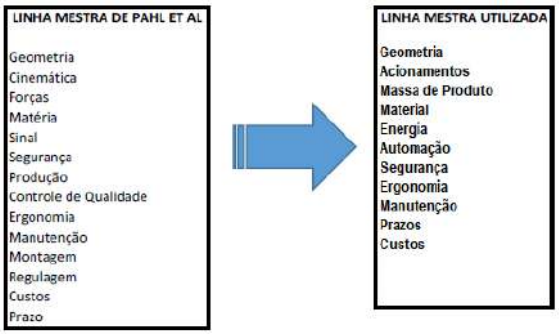



Figura 2. Linha Mestra do Produto

### 2.1.1 Lista de Requisitos

Utilizando-se a linha mestra estabeleceu-se a lista de requisitos do produto, que está exposta no Quadro. 1. Os requisitos foram classificados em: **E** – Exigência, ou seja, o que deve ser cumprido; **DA** – Desejo alto, ou seja, não é uma obrigação mas existe uma vontade muito grande que o requisito seja cumprido; e **DB** – Desejo baixo, ou seja não é uma obrigação, mas existe uma pequena vontade que seja cumprido.

Quadro 1. Lista de requisitos do produto

| LINHA MESTRA | DB/DA/E | REQUISITOS |
|---|---|---|
| Geometria | E | Possuir medidas laterais máximas de 500 mm e altura máxima de 1200 mm |
| | DA | Possuir altura de até 500 mm |
| | DB | Medidas laterais de até 350 mm |
| Acionamentos | E | Automática a cada processo e o sistema não pode contaminar o produto |
| | DA | Maquina deve ser automatizada |
| | DA | Rotação em torno de 50 rpm |
| Massa de produto | E | Carga deve ser de no mínimo 2000gr e a massa mínima deve ser de 500gr |
| | DA | A massa pode ser de até 4000gr |
| | DA | A massa deve sair embalada a vácuo |
| Material | E | O material da estrutura deve possuir rigidez para suportar as cargas |
| | DA | O material da estrutura não requer manutenção |
| | DB | Utilizar esferas de 8mm e 15mm |
| | DA | O material da estrutura deve ser de baixo custo |
| Energia | E | O equipamento deve ser monofásico |
| | E | O equipamento deve ser bivolt 110/220V |
| Automação | DA | Retorno automático caso não atinja o requisito de medida mínima. |
| | DB | Desligamento automático após o processamento |
| Segurança | E | O equipamento deve atender requisitos da NR12 |
| Ergonomia | DA | Os acionamentos devem estar em posições com boa ergonomia |
| Manutenção | DA | O intervalo de manutenção preventiva deve ser maior que 6 meses |
| Prazos | E | O projeto detalhado deve estar pronto até Julho de 2020 |
| Custos | DA | O custo máximo do equipamento deve ser de R$ 5.000,00 |

Dentro da análise da lista de requisitos, se faz necessário uma busca por custos do equipamento mas ficam boas alternativas que podem ser utilizadas em concepção de produtos futuros e ou então uma nova geração do próprio equipamento. Baseado nisto o quesito Acionamentos e Automação podem não ser atendidos mas com a evolução das tecnologias, futuramente poderão ser adicionados sem custos ou com custos inferiores.

## 3. Concepção

Após a lista de requisitos estar definida passou-se para a segunda fase da metodologia de Pahl et al. (2005), estabelecendo a concepção do produto. Utilizando-se da lista de requisitos e a ferramenta de abstração, proposta pelos autores, se definiu a função global que o produto deve cumprir, o fluxograma da Figura. 3 apresenta as entradas, saídas e a função global encontrada, assim como as subfunções necessárias para o atendimento da função principal.

A estrutura de funções foi elaborada através da função principal do produto final e das dificuldades encontradas pelos pesquisadores que compõem o Laboratório de Bioengenharia, Biomecânica e Biomateriais da UPF, tendo como matéria prima de entrada na máquina multifuncional de picar e moer, o osso liofilizado e obter um pó com granulometria de 88μm.

Figura 3. Função Global do Produto e Subfunções

### 3.1 Variantes de solução

Através das subfunções determinadas, se criou a matriz morfológica de solução, onde foram encontradas soluções para cada subfunção requerida para o atendimento da função global proposta anteriormente. A matriz morfológica pode ser vista na Figura. 4.

Figura 4. Matriz morfológica das subfunções

Com base na análise nas soluções de cada subfunção, considerando o atendimento a lista de requisitos, a agilidade na produção, custo, facilidade de operação, passou-se a Avaliação das soluções encontradas com atenção a conformidade, segurança referente a lista de requisitos, e levando em consideração requisitos ambientais, sua manufatura simples e com baixo custo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a Avaliação das soluções, chegou-se a concepção prévia do produto sendo possível prover o protótipo virtual em 3D, com auxílio do programa Autodesk Inventor. Com auxílio deste trabalho utilizou-se a metodologia de Desenvolvimento de produto para buscar um conceito de equipamento adequado às necessidades do laboratórios de Biomateriais. Através da metodologia e ferramentas adotadas pode-se concluir que objetivo geral deste trabalho foi alcançado, sendo que a proposta conceitual do equipamento foi apresentada e se mostrou viável para um posterior projeto detalhado.

O conceito de produto apresentado se mostrou adequado às necessidades dos produtores, uma vez que o equipamento possui pequeno porte e boas características de transportabilidade. Ele foi desenvolvido com características modulares, o que facilita a sua aquisição e transporte, uma vez que ele pode ser deslocado desmontado. Será possível também realizar a aquisição de cada módulo em separado o que se mostra um ponto positivo para os clientes.

Quadro 2. Avaliação das soluções

| Lista de Seleção das Variantes de Solução<br>(+) Prosseguir com a solução<br>( - ) Descartar solução<br>(?) Buscar informações | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Há conformidade com a lista de requisitos? | | | | | | |
| | | Atende a requisitos de segurança? | | | | | Decisão |
| | | | Pode haver contaminação do Produto? | | | | |
| | | | | Pode ser projetado e fabricado de forma simples? | | | |
| | | | | | Pode ser fabricado com baixo custo? | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| V1 | + | + | + | + | + | | + |
| V2 | + | + | + | - | - | | - |
| V3 | + | + | - | + | + | | - |

Além disso, espera-se que o custo do equipamento seja atrativo, uma vez que os materiais foram sugeridos e projetos buscando o alinhamento entre o custo e desempenho. É importante destacar que este produto ainda é um conceito, ou seja, se trata de um projeto em andamento, sendo as fases de detalhamento e testes ainda necessárias para corroborar com está análise preliminar realizada.

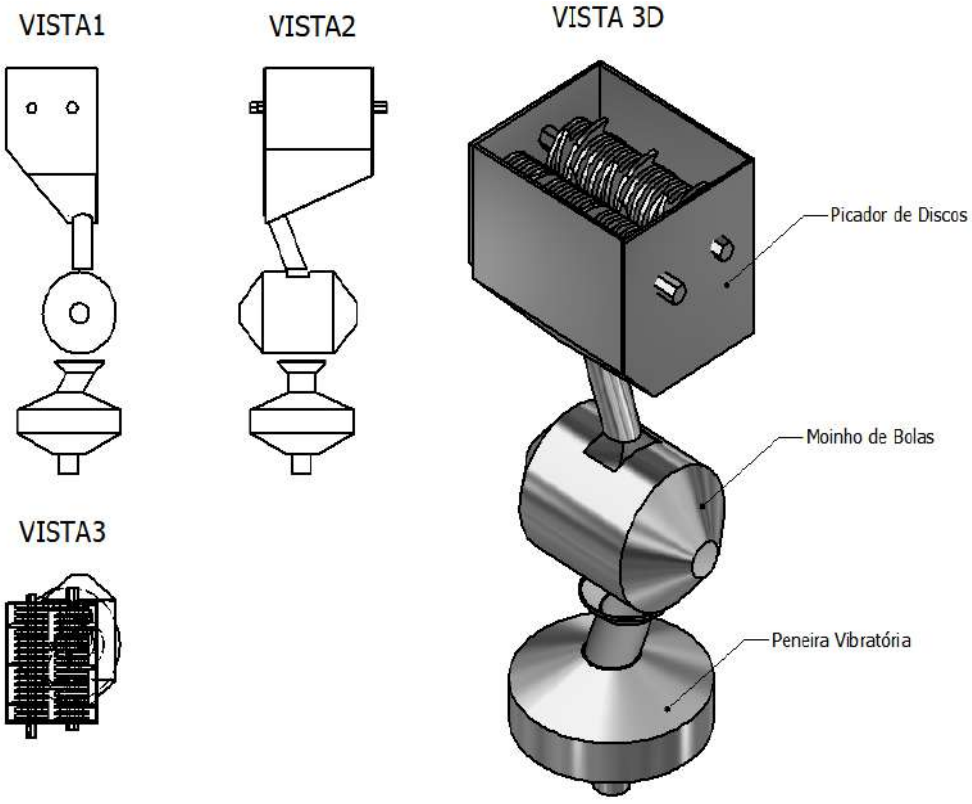



Figura 5. Concepção da variante

Após a análise das Variantes no Quadro 2, as variantes V1, V2 e V3, foram descartadas as variantes V2 e V3 ficando como melhor opção para o projeto e desenvolvimento do produto a variante V1.

A variante V2, foi descartada por não atender o requisito de fabricação de forma simplificada e também devido ao custo de executar peneiramento e moagem juntos, pois, as peneiras poderiam ser danificadas pelo impacto das esferas do moinho e tornar-se-ia um produto com manutenção elevada.

A variante V3, por utilizar o peneiramento manual, apesar de ser de baixo custo não atende o requisito de contaminação do produto, ao manusear o produto na fase de peneiramento manual haveria de dois a três manuseios, o primeiro a colocação do pó na peneira, por segundo peneirar sobre um recipiente e por último a embalagem. Como melhor opção para o projeto e desenvolvimento do produto resultou a variante V1, esta atende a lista de requisitos com forma simplificada de produção, baixo custo e só haverá manuseio do produto no inicio e na embalagem do mesmo, assim, reduz-se ao máximo a possibilidade de contaminação do pó de osso gerado.

Esta máquina Multifuncional vista na Figura 5. Pode ser utilizada para outras finalidades além de produzir pó de osso, pois, pode moer e picar outros compostos orgânicos para finalidade de produção de farelo de trigo, soja, milho ou outro cereal para ser vendido, por exemplo, em Casas de produtos orgânicos.

## 5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da concepção de equipamentos seguindo as fases de uma metodologia, nesse caso as duas primeiras fases propostas pela metodologia de desenvolvimento de produto de Pahl et al. (2005), teve como objetivo principal criar uma concepção que sirva como uma base sólida para o restante do desenvolvimento do produto pelo projetista.

Além desse desenvolvimento mais seguro e concreto, com a aplicação de uma metodologia, existe um melhor controle de todas as fases do projeto, sabendo-se o que deve ser entregado, quais os requisitos exigidos e quais os desejos. O histórico das informações geradas na utilização de métodos é outro ponto que apresenta grande vantagem para projetos posteriores.

Conclui-se assim que a utilização de metodologias de planejamento e desenvolvimento de produtos apresentam diversas vantagens, e nesse artigo, auxiliou na criação de informações para o desenvolvimento do projeto preliminar e do detalhamento do equipamento multifuncional de picar,moer e formar pó de ossos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bone Yard - 3DP in Bone. Revista OPEN 3DP, 2011 Disponível em: < http://depts.washington.edu/open3dp/2011/03/bone-yard-3dp-in-bone>. Acesso em: ago. 2017.

DINGEE, F. Análise da influência dos tratamentos de liofilização, esterilização e reidratação nas propriedades mecânicas do osso cortical bovino. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis 2005.

Lerner, A. M. RESISTÊNCIA MECÂNICA DE BIOCOMPONENTES À BASE DE HIDROXIAPATITA PARA USO COMO ENXERTIA ÓSSEA. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Projeto e Processos Mecânicos) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo 2018.

NATH, Shekhar; DUBEY, Ashutosh Kumar; BASU, Bikramjit. Mechanical properties of novel calcium phosphate–mullite biocomposites. Journal Of Biomaterials Applications, v. 27, n. 1, p.67-78, 2011. Disponível em: <www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21343213>. Acesso em: jun. 2017.

Pahl, Gerhard., Beitz, Wolfgang., Feldhusem, jörg. e Grote, Karl H. *Projeto na Engenharia*. 6ª ed. Editora Blucher, São Paulo, 2005.

RODRIGUES, I. Engenharia Alimentar Processamento Geral de Ali-mentos "Liofilização", 2008. Disponível em: <http://www.esac.pt/noronha>. Acesso em: 20 jun. 2011.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UM ADAPTADOR PARA MONTAGEM DE ACESSÓRIOS FRONTAIS EM UM TRATOR AGRÍCOLA

**Márcio Walber**
**Igor Enderle Lodi**
**Fabrício Vianna**
Universidade de Passo Fundo, Av. Brasil Leste, 285 - São José, Passo Fundo - RS, 99052-900
mwalber@upf.br, igorelodi@gmail.com, fvianna@gmail.com

**Resumo:** Este trabalho consiste no desenvolvimento de um adaptador, para montagem de implemento frontal, na segunda geração de tratores Valtra Série A. Buscando competitividade e abrangência de mercado, o produto desenvolvido fará parte da venda adjunta do implemento e trator agrícola. O sistema permitirá montagem da estrutura mecânica e acessórios padrões de linha, respeitando as dimensões finais de operação prevista em catálogo, sem interferência no desempenho do trator. A comunização e quantidade reduzida de componentes tornam-se objetivos principais do projeto. Para isso, utilizam-se softwares CAD, considerando modelagem, detalhamento e análise de interferência do conjunto adaptador.

**Palavras-chave:** Projeto, Adaptador, Trator Agrícola.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro deste panorama chamado globalização, as empresas carecem de um diferencial competitivo entre seus produtos. Essa diferenciação ocorre no investimento em pesquisa para a melhoria da qualidade dos produtos, oferecimento de serviços extras, design de embalagens, maior número de pontos de distribuição, promoções/descontos, etc. De acordo com o enfoque dado pelas empresas fabricantes deste produto, elas direcionam sua comunicação para que o consumidor consiga vincular seu nome e sua marca a essa especificidade, sua competência essencial, sua característica intrínseca, destacando-a das demais.

Atualmente as empresas buscam diferenciação através de lançamentos de produtos confiáveis no mercado, objetivando fidelizar e buscar novos clientes. Irrompe-se então o projeto de um adaptador que possibilite a montagem de implementos frontais para a segunda geração de tratores Valtra Série A, contemplando os modelos VB188, VB 195 e VB196.

O adaptador terá que possibilitar a montagem da estrutura mecânica padrão da empresa, bem como do engate articulador e concha frontal. As dimensões de trabalho, previstas em catálogo, por exemplo, altura do solo e profundidade deverão ser respeitadas, servindo de ponto de partida para o estudo e elaboração do projeto. Além disso, o desempenho do trator deverá permanecer intacto, sem influência do novo dispositivo para montagem do implemento.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

O presente trabalho trará o desenvolvimento de um projeto de adaptador que possibilite o manuseio do acessório, atendendo às operações do cliente, com conforto, segurança e alto desempenho, objetivando eliminar custos adicionais ao projeto.

### 2.1 Tratores agrícolas

Tratores agrícolas são máquinas auto propelidas projetadas para tracionar, transportar e fornecer potência para máquinas e implementos agrícolas. Portanto, o equipamento por si próprio, não possui função alguma. O trator foi sendo aperfeiçoado com o passar do tempo para atender a muitas tarefas desenvolvidas nas propriedades agrícolas, adaptando-se as modernas práticas agrícolas, se tornando um dos mais importantes insumos agrícolas modernos (GARCIA, 2012).

Os tratores substituem os animais domésticos utilizados outrora. Como fonte de potência, são mais adequados para fornecer potência em movimento de rotação, bem como para trabalhos estacionários do que os animais. Aumentam a produtividade por área trabalhada, além de modificar as características do trabalho no campo, tornando-o menos árduo e mais atrativo. A seguir verificam-se conceitos importantes sobre componentes de um trator, essenciais para a elaboração e compreensão do projeto de um adaptador.

## 2.2 Chassi

A espinha dorsal de um trator é constituída pelo motor, transmissão, sistema hidráulico e rodados, e a ela denominamos chassi. Há vários conceitos de estrutura de chassi: monobloco, chassi propriamente dito, semichassi e chassi articulado.

Segundo VARELLA (2006, p. 3) "A estrutura monobloco é formada pela união dos próprios componentes do trator (motor, transmissão, diferencial). Esses componentes recebem diretamente os esforços de torção devido à tração desenvolvida pelo trator. A vantagem deste tipo de chassi é a significante redução nos custos de fabricação". A Figura 1 mostra este tipo de estrutura.

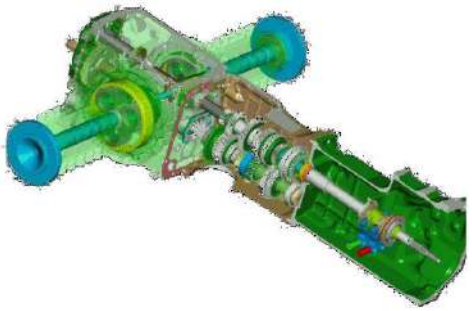


Figura 1. Chassi monobloco

## 2.3 Sistema hidráulico

O Sistema do trator geralmente contempla bomba de engrenagens independente e levante hidráulico. Portanto, cada veículo possui sua própria vazão, que deverá ser observada de acordo com a aplicação, seja para movimentação dos cilindros da estrutura mecânica ou para o movimento de suspensão de implementos de arrasto, entre outros. A interface entre o sistema hidráulico dos produtos é feita através de engastes rápido, localizado na traseira do trator.

## 2.4 Adaptador

Designa-se por adaptador um conjunto de peças, geralmente soldadas, que promovem o acoplamento da estrutura mecânica para com o trator, transmitindo esforços provenientes da operação com o acessório de forma estável e segura. A Figura 2 mostra o posicionamento de um adaptador em um trator agrícola.

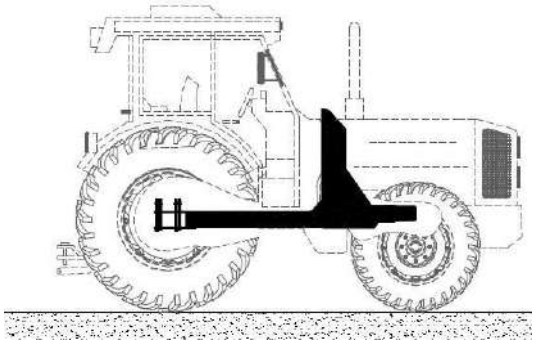


Figura 2. Posicionamento do adaptador

Específico para cada modelo de trator, os adaptadores diferenciam-se principalmente pela distância entre torres, forma de engaste no trator e posição do tirante.

No mercado brasileiro praticam-se duas distâncias entre torres, 954 ou 1030 mm, que são determinadas de acordo com a potência do trator. Esse espaçamento é melhor compreendido visualizando a Figura 3. Quanto maior a potência, maior o esforço incidente sobre o adaptador e a estrutura. Nestes casos é usual um espaçamento maior, uma vez que a carcaça de ambos possui maior robustez.

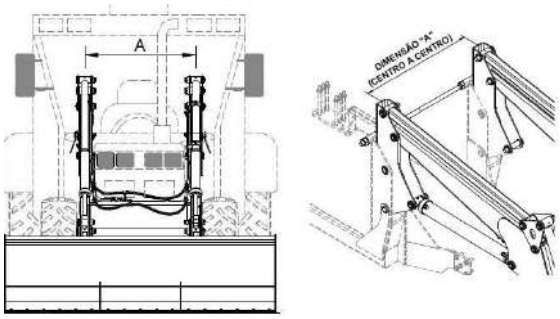



Figura 3. Distância entre torres
*Fonte: AGCO, 2010.*

Considerando o engaste no trator, há quatro pontos específicos para este propósito. O primeiro e segundo pontos referem-se à parte frontal e intermediária, respectivamente, do berço fundido do motor. Estes pontos são mostrados através da Figura 4. Indispensáveis, eles absorvem grande parte do efeito alavanca e ainda auxiliam no suporte do peso do implemento.

Já para o terceiro e quarto pontos de engaste, remanesce a parte traseira do trator. Na transmissão, juntamente fixado com o sistema ROPS, e no suporte dos braços do hidráulico. A Figura 4 ilustra o sistema.



Figura 4. Pontos de engates frontais e traseiros
*Fonte: http://www.valtra.com.br/*

Geralmente não é preciso utilizar os pontos 3 e 4 juntos, pois um deles já é suficiente para absorver a flexão causada pela operação do acessório, mesmo assim, para alguns casos é possível deparar-se com ambos os pontos de fixação traseiros. São os casos de tratores com potência elevada onde exige muito esforço da estrutura mecânica e do adaptador.

Tudo depende do conceito de estrutura de chassis, conforme supracitado. No caso de chassi monobloco, o trator tende a romper-se ao meio, pois é formado pela união de seus próprios componentes. No caso de chassi propriamente dito estes pontos tornam-se desnecessários. A carcaça evita que os esforços sejam diretamente absorvidos pelos componentes, possibilitando assim apenas engastes nos pontos 1 e 2. A Figura 5 mostra este tipo de adaptador.

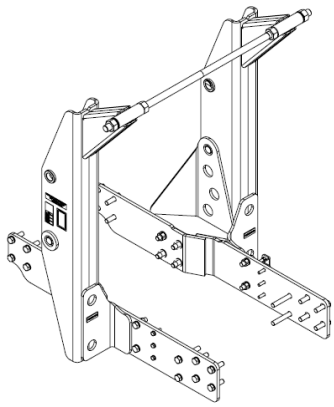


Figura 5. Adaptador apenas com pontos de engates frontais
*Fonte: AGCO, 2010*

Na parte superior de alguns adaptadores pode-se encontrar o tirante, tendo como principal função garantir estabilidade ao conjunto. Assim como os engastes traseiros, o tirante não é necessário quando o adaptador contempla estrutura de chassi propriamente dito, pois ele mesmo exerce a função de estabilização do sistema. Sua posição varia conforme a altura do trator, tipo de cabine e forma do capô. Não deve limitar o ângulo de abertura do mesmo, ou muito menos, dificultar a visão do operador, como ilustra a Figura 6.

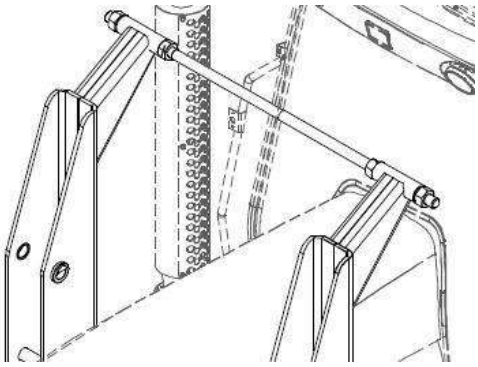


Figura 5. Localização tirante
*Fonte: AGCO, 2010*

É importante salientar também quanto ao conceito de torre. Atualmente, identifica-se um modelo muito prático, onde o acoplamento da estrutura com o adaptador é realizado através da montagem de um único pino. Isso facilita quando a pá carregadeira não será mais utilizada, pois removendo um pino o trator já está apto para a realização de outra atividade.

### 2.5 Estrutura Mecânica

A estrutura mecânica tem a função de movimentação do acessório. Através dos cilindros hidráulicos traseiros, executa o movimento de subida e descida e com os cilindros frontais, com o auxílio do engate articulador, há o terceiro movimento de basculamento, no caso da concha, conforme exibe a Figura 6.

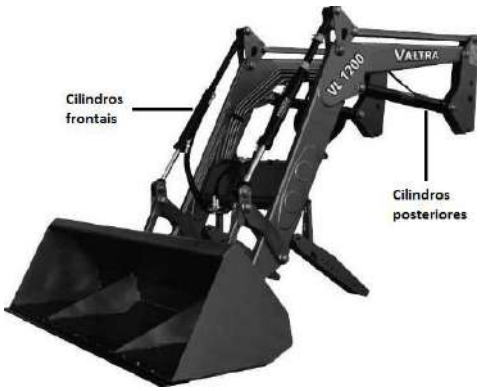



Figura 6. Cilindros frontais e posteriores
*Fonte: AGCO, 2010*

O engate articulador habilita o giro do acessório. Sem ele, não haveria o terceiro movimento que o implemento oferece. Além disso, pode-se fazer a troca do acessório de maneira muito rápida. Basta girar a alavanca, fazendo com que tanto o pino do lado esquerdo como do lado direito se retraiam. A Figura 7 ilustra o sistema.

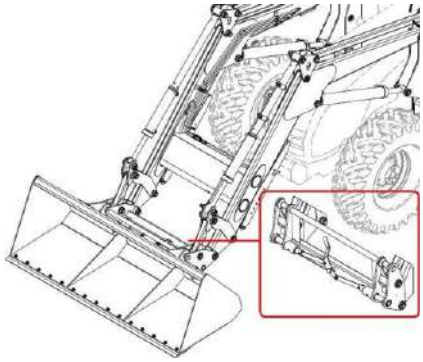


Figura 7. Engate articulador
*Fonte: AGCO, 2010*

Também denominado de "H", a estrutura mecânica possui alta interface com o adaptador. Sempre um deverá seguir o conceito de projeto do outro. Por exemplo, conforme apresentado anteriormente, o adaptador contempla os dois espaçamentos padrões de 964 e 1030 mm, e assim deve ocorrer com a estrutura mecânica. Outro exemplo seria o conceito de acoplamento com um único pino. Para isso, a estrutura mecânica deve vir preparada com uma pré-montagem de encaixe no pino do adaptador, como na Figura 8 (SHIGLEY, 2005).

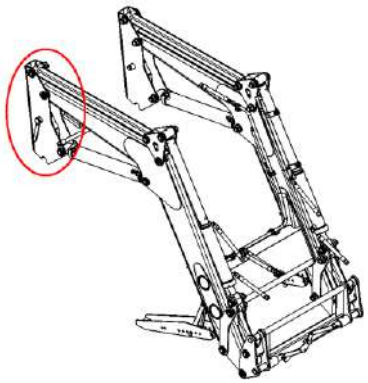


Figura 8. Estrutura Mecânica
*Fonte: AGCO, 2010*

**2.6 Interface Implemento x Trator**

Ao iniciar o desenvolvimento de algum acessório, deve-se ter em mente as condições de trabalho do mesmo. Estas são dimensões funcionais do sistema, que resultam da combinação das quatro estruturas envolvidos no produto: trator, adaptador, estrutura mecânica e acessório. Elas são arbitradas por marketing da empresa e especificadas em catálogo. Sendo assim, sempre que possível devemos respeitá-las. Encontram-se exemplo na figura 9 que representa a dimensão de trabalho de uma concha frontal e de um guincho big-bag.

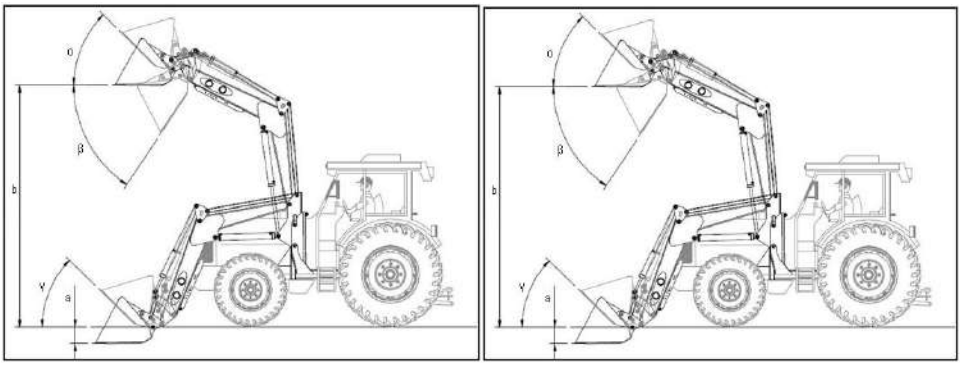


Figura 9. Dimensões de trabalho de uma concha frontal e de um guincho big-beg
*Fonte: AGCO, 2010*

Apesar de especifica por marketing e um ponto de argumentação na hora da venda é necessário ter em mente que estas dimensões de trabalho variam de trator para trator. Isto se explica devido à estrutura mecânica e acessório serem itens de linha, portanto não passíveis de alteração a cada novo projeto de trator. Portanto, estas variações são absorvidas pelo projeto do implemento, que mesmo desta forma muitas vezes não as contempla à risca, mas sim é atingido um nível muito próximo da condição designada.

## 3. DESENVOLVIMENTO

Primeiramente há a apresentação da família de tratores a serem contemplados com o implemento. Ao todo são três modelos, VB188, VB195 e VB196, como consta no subtítulo logo abaixo.

### 3.1 Características dos tratores VB Série A Geração II

O modelo VB188, assim como os outros, faz parte da linha leve de tratores. Este trator foi desenvolvido para atuar nas diversas situações da agricultura, podendo-se configurá-lo de acordo com a tabela 1.

Tabela 1- Características VB188

| | |
|---|---|
| Potência | 65 - 101 hp |
| Configurações | 4 cilindros A950 4x4 ou 3 cilindros A750 4x4 |
| Pneus | Dianteiro 12.4-24 |
| | Traseiro 18.4-30 |

O modelo VB 195 pertence ao grupo de tratores fruteiros. É um tipo de trator agrícola especialmente adaptado aos trabalhos na lavoura cafeeira e na fruticultura, cuja principal característica é a pequena distância entre as rodas do mesmo eixo (bitola estreita).

Já o VB 196 possui grande similaridade com o modelo VB188 supracitado. Este trator contempla modelo cabinado, e por isso recebe outra nomenclatura. Terá influência muito grande no desenvolvimento deste projeto devido à localização do tirante de estabilização e sua proximidade com a cabine.

### 3.2 Estrutura Mecânica

Há três modelos de estruturas mecânicas autonivelantes. Suas peculiaridades discriminam-se nas espessuras de chapas e comprimentos. A tabela 2 abaixo mostra sua classificação conforme a potência do trator.

Tabela 2 – Classificação de estruturas mecânicas

| **Descrição** | **Potência (hp)** |
|---|---|
| MF1100/VL1200 | 80 - 100 |
| MF1125/VL1500 | 100 - 120 |
| MF1180/VL1800 | 120 - 185 |

Os tratores da segunda geração Série A possuem range de 65 à 101 hp. Isso acarreta na utilização da MF1100 ou VL1200, dispondo de espaçamento interno e entre torres de 868.3 e 964 mm, respectivamente.

### 3.3 Adaptador

Principal produto da família, o modelo VB188 servirá de base os estudos de elaboração do projeto. Posteriormente será executada uma verificação de interferências para os modelos restantes.

Ao iniciar o desenvolvimento de um adaptador, sempre deve-se levar em consideração dois pontos macros: engaste no trator e dimensões de operação do implemento, como por exemplo profundidade, altura, etc. É nesta etapa que determina-se onde a parte traseira do adaptador será fixada. Na transmissão, juntamente com o suporte dos braços do hidráulico, ou no engaste do sistema ROPS, como ilustra a Figura 10.

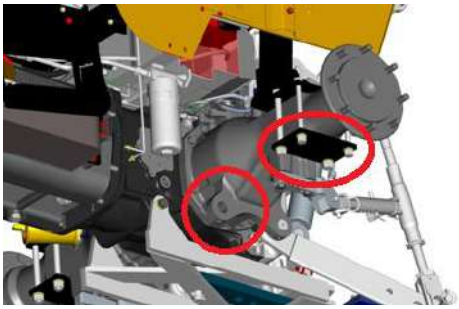


Figura 10. Pontos de engaste traseiro
*Fonte: AGCO, 2010*

Neste caso, opta-se pela fixação no suporte do 3° ponto, implicando em melhor distribuição das cargas, comunização de peças, como longarinas, e enfim, manter os custos à um nível inferior.

Uma vez definidos os engastes, o adaptador começa a tomar forma. O próximo passo consiste em imputar os três componentes que irão conectados ao trator, sendo estes de grande importância estrutural e são: chapa frontal, torre de sustentação e base de fixação traseira. Possuem influência direta nas dimensões finais de trabalho, principalmente as torres, pois somando-se à altura do berço para com o chão, resulta na profundidade de operação da pá carregadeira frontal. Visualiza-se o modelo através da Figura 11.

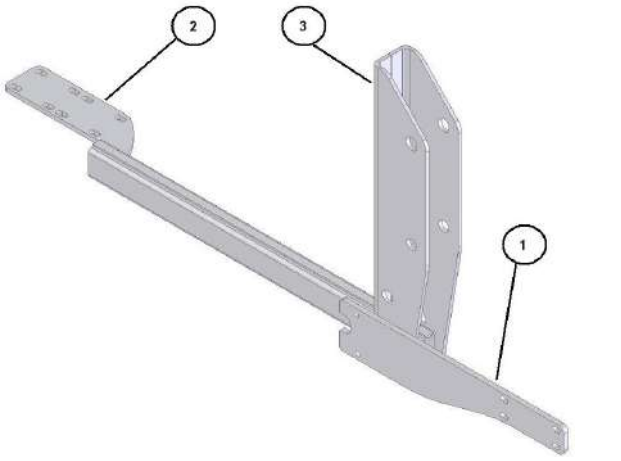



Figura 11. Principais componentes do adaptador

Observa-se na Figura 11, que a base de fixação traseira possui oito oblongos para montagem no trator. Isto é necessário para viabilizar o desenvolvimento de apenas um adaptador para a Séria A segunda geração, uma vez que o modelo VB188 é oferecido na configuração de motores com 3 ou 4 cilindros. Assim, com 4 cilindros o berço do motor é deslocado 175 mm para frente, culminando em um novo ponto para fixação na transmissão.

Acrescentam-se as chapas de ligação entre as estruturas já desenvolvidas, seguindo o conceito de projeto adotado em adaptadores de linha para então executar o modelamento do adaptador direito. Por fim, é adicionado reforços para melhor distribuição das cargas. Após a conclusão deste pré-modelo, que pode ser visualizado na Figura 12, os elementos de máquina são incluídos, estes consistindo basicamente em parafusos, arruelas e porcas, para assim realizar a análise de interferências que é vista no próximo item.

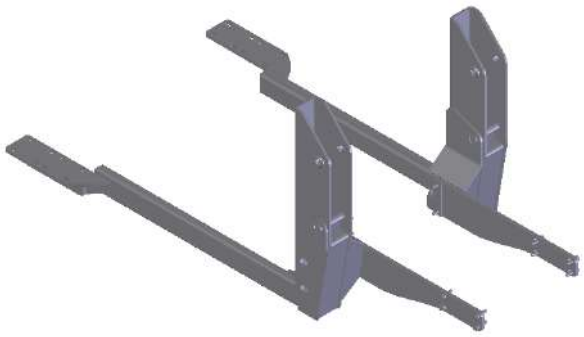


Figura 12. Adaptador pré-pronto

### 3.4 Disposição Implemento e Trator

Nesta etapa, identificam-se pontos onde há interferência ou situações de risco que podem causar desconforto ao cliente, ou até mesmo comprometer a viabilidade do projeto. A Figuras 13 mostra os problemas diante do adaptador pré-modelado.



Figura 13. Interferência escada/longarina e possíveis interferência do escapamento com mangueiras hidráulicas

Realizada a revisão de projeto para discussão dos problemas encontrados, onde a largura do rodado foi corrigida com montagem de bitola maior, apenas afastando os pneus. Desenvolveu-se nova escada com suporte prolongado, conceito novo de escapamento e a caixa de ferramentas foi deslocada para trás, evitando o choque com a torre de sustentação. O elemento filtrante se mantém na mesma posição, visto que há folga suficiente para troca do mesmo. Já para o adaptador, altera-se a posição do tirante superior para não culminar no contato com o capô escamoteavel. O resultado pode ser observado através da Figura 14.

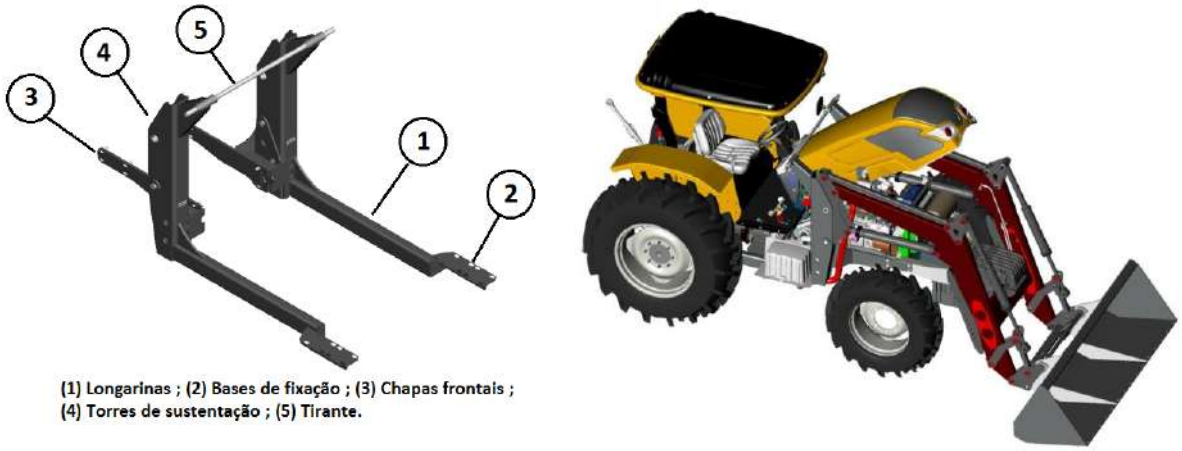



Figura 14. Adaptador finalizado

## 4. CONCLUSÕES

O projeto mecânico é uma tarefa complexa, que requer diversas habilidades. Aprender e especializar-se constitui um processo contínuo e para isso existem diversos recursos para apoiar o projetista, como a internet e diversas ferramentas computacionais de projeto.

Deste modo, concluímos que apesar de realizarmos diversas analises, devemos ponderar sobre a aceleração do trator, freadas bruscas com o implemento operando em capacidade máxima de carga, terrenos irregulares promovendo esforços não uniformes, e portanto exigindo muito mais da resistência estrutural do adaptador projetado à medida que aumenta os níveis de tensão e deformação.

Também concluímos que para atingir uma condição ótima de projeto e apresentar oportunidades de significativa redução de custos, se faz necessário uma análise dinâmica da estrutura, identificando pontos onde há menor esforço estrutural. Isto prossegue com os estudos apresentados neste projeto, proporcionando maior exatidão quanto à validação do adaptador Série A GII.

## 5. REFERÊNCIAS

AGCO. *Manual do Operador*. Revisão 01, 2010

VARELLA, Carlos. *Introdução ao estudo dos tratores agrícolas*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

GARCIA, Ricardo. *Setores de Mecânica Aplicada e Mecanização Agrícola.* Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2012.

SHIGLEY, Joseph E. *Projeto de Engenharia Mecânica*. 7ª edição. ; Editora Bookman – Porto Alegre, 2005.

*http://www.massey.com.br/*

*http://www.valtra.com.br/*

## 6. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluídos neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE UM SISTEMA DE DESCOMPACTAÇÃO DE CALCÁRIO EM UMA MÁQUINA DE DISTRIBUIÇÃO POR GRAVIDADE

**Jonas Rafael Reiter**
**Márcio Walber**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
jonas@agroworks.ind.br; mwalber@upf.br

**Resumo:** *A precisão da distribuição de fertilizantes e insumos corretivos como diferentes tipos de calcário e gesso, aliada com a otimização da agricultura de precisão necessita estar alinhada com a homogeneidade da aplicação. Os equipamentos existentes na atualidade atendem de forma parcial sua funcionalidade. O objetivo deste artigo é o desenvolvimento do conceito de um sistema que permita a descompactação de calcário dentro do reservatório de uma máquina já existente, pois diferenças taxas de umidade acabam gerando compactação no reservatório, pois sua geometria vai afunilando quanto mais próxima aos furos da aplicação, maior a compactação que por sua vez não permite o escoamento continuo do calcário no processo de aplicação por gravidade, gerando o problema de homogeneidade de distribuição. A metodologia seguirá as diretrizes de desenvolvimento de produto de Paul et al. (2005) baseando-se nas fases de planejamento e estabelecimento de conceito. Como resultado, espera-se buscar em bibliografias existentes, bases para a pesquisa e desenvolvimento do sistema, no que tange ao objetivo proposto, viabilizar o conceito de projeto de um sistema de descompactação que atenda aos requisitos de custos e funcionalidade e adaptabilidade, que permita aplicação ou distribuição homogênea em sua área de aplicação por gravidade com a utilização de diferentes insumos com distintas granulações e umidades, de acordo com a necessidade.*

**Palavras Chave:** Máquinas de distribuição de calcário, Descompactação, Projeto de produto.

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo geral deste estudo visa desenvolver um conceito de um sistema para descompactar o calcário no reservatório de uma máquina de distribuição por gravidade, pois devido a geometria afunilada do reservatório, ocorre a concentração de densidade sobre as pás giratórias, gerando um "oco" impedindo a fluidez do insumo pelo furo de dosagem e homogeneidade de aplicação.

Uma das variáveis que dificultam a uniformidade de aplicação e funcionamento da máquina, é a umidade do calcário, conforme o aumento dessa taxa, ocorre o aumento da sua densidade, o que acaba ocasionando uma barreira em decorrência da acomodação do insumo em consonância com a vibração do transporte, gerando um "oco" um pouco acima das pás agitadoras, que tem função de descompactar o calcário e forçar sua passagem próxima ao furo de dosagem.

A vantagem da aplicação de calcario por gravidade é a distância do ponto de aplicação com o solo, ou calagem, pois quanto mais próximo do ponto de saída da máquina em relação ao solo, menor a dispersão do material ao ar. Esta é a principal razão da preferência comercial gradativa em relação aos sistemas de distribuição a lanço. Estes distribuidores centrífugos são utilizados devido a sua diversificada capacidade de aplicação de materiais, porém apresentam problemas de distribuição desuniforme e segregação de partículas, que sofrem a ação do vento na distribuição e possuem baixa capacidade operacional pela limitada largura de trabalho (SILVEIRA, 1989). As partículas são literalmente lançadas no ar, sendo que diferentes granulometrias e densidades de calcário são aplicadas desuniformimente em relação à distância, ou seja, apenas o calcário com granulometria maior, portanto com maior massa, acaba sendo aplicado ao solo dentro da área que o equipamento se propõe a trabalhar, e o calcário mais fino, que tem a reação mais rápida no solo e o considerado empiricamente mais nobre, tem sua função usurpada devido a dispersão no ar e muitas vezes levados pelo vento ao fundo do vale ou áreas mais baixas.

O aumento de tecnologia e inovações inseridas nas máquinas, muitas vezes concentra-se apenas no levantamento e processamentos de dados, torna quase que imperceptível a importância de pesquisas no âmbito do melhoramento de sistemas mecânicos, que na maioria das vezes são projetados de acordo com a expertise empírica do projetista, em ter a solução mais rápida de acordo com os preconceitos e hábitos por ele trabalhados por longo períodos, alimentando vícios, com possibilidade restritivas específicas e não generalizados, de forma a se afastar e vislumbrar uma visão

diferente ampliando a gama de possibilidades de soluções antes não percebidas, levando sempre em conta os custos desejados e condições atendentes de processos e fabricação.

Serão avaliados sistemas existentes e suas aplicações, levantamento de parâmetros e requisitos para o desenvolvimento de um novo conceito de descompactação do calcário acima das pás agitoras afim de não permitir o "oco", mantendo a uniformidade e escoamento do produto pelos furos de dosagem e ao final a modelagem em 3D.

Sabendo da importância do estudo na busca de uma solução viável economicamente e fabril, Back 2008 relata a importância das variáveis a serem selecionadas na fase de concepção, fazendo comparações alternativas no projeto considerando custo, riscos no contexto de projeto de produto e fabricação, além de aliar o marketing, segurança, fornecedores e pós-vendas. O artigo tem como objetivo geral o desenvolvimento da concepção de um sistema de descompactação, utilizando-se da metodologia de projetos proposta por Pahl *et al.* (2005), composta por quatro fases, como pode ser observado na Figura 1.

A escolha por essa metodologia se deve pelo fato de ela ser focada no desenvolvimento do produto, não se atendo nas fases de vendas e pós-vendas, já que o equipamento será utilizado em laboratórios. Nesse trabalho apenas as duas primeiras fases da metodologia serão utilizadas, tendo assim como resultado da primeira fase o estabelecimento dos requisites do projeto e na segunda fase a criação de uma estrutura de funções, variantes de solução e, por fim, a escolha da melhor concepção.

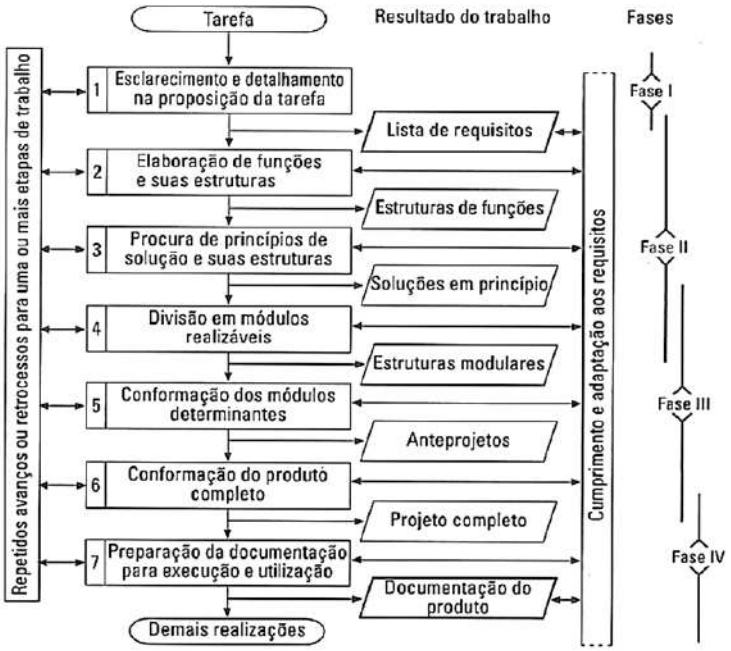



Figura 1 - Metodologia de Pahl et al. (2005)

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do conceito de um sistema para descompactar o calcário no reservatório de uma máquina de distribuição, foram utilizadas as duas primeiras fases propostas por Pahl *et al*. (2005). Buscou-se com a utilização dessas fases a determinação correta do planejamento da tarefa a ser desenvolvida, a criação de uma lista de requisitos, as funções e subfunções requeridas para o sistema, o atendimento dessas funções e a criação de um conceito de produto que atende ao proposto.

### 2.1 Planejamento do produto

Partindo-se do princípio que o sistema será adaptado em uma máquina já existente, os requisitos básicos como dimensões totais gerais, velocidades de trabalho, capacidades, massas, tipo de calcário e sistema de transmissão serão analisados através de dados quantitativos das informações técnicas.

Além dessas características buscou-se acrescentar à lista de requisitos as demais necessárias, que são mais complexas de estabelecer no início do desenvolvimento de um novo produto, mas que podem ajudar o projetista a desenvolver um produto com maior segurança, confiabilidade, robustez e de qualidade. Para isso utilizou-se uma adaptação da linha mestra, proposta por Pahl *et al.* (2005), porém adaptada aos requisitos do projeto aqui estudado, conforme apresentado no Quadro 1.

- ✓ Geometria
- ✓ Movimento
- ✓ Carga
- ✓ Material
- ✓ Energia
- ✓ Segurança
- ✓ Ergonomia
- ✓ Manutenção
- ✓ Prazos
- ✓ Custos

Quadro 1. Linha Mestra do projeto adaptada de Pahl *et al.* (2005)

Utilizando-se da linha mestra, montou-se a lista de requisitos do produto, que está explanada Quadro 2. Os requisitos foram classificados em: E – Exigência, ou seja, o que deve ser cumprido; DA – Desejo alto, ou seja, não é uma obrigação mas existe uma vontade muito grande que o requisito seja cumprido; e DB – Desejo baixo, ou seja não é uma obrigação, mas existe uma pequena vontade que seja cumprido. A utilização da lista de requisitos, se faz necessária para a o esclarecimento das especificações das variáveis e dos atributos que são essenciais ao conceito, influenciam o desdobramento posterior e determinam o layout básico do produto.

| LINHA MESTRA | DB/DA/E | REQUISITOS DO PRODUTO |
|---|---|---|
| Geometria | E | Comprimento máximo 6 m |
| | DA | Eixo Diâmetro entre 30 a 60 mm |
| Movimento | DA | Rotação entre 5 e 30 rpm |
| | DA | O sistema deve possuir baixo atrito |
| Carga | E | Massa de insumos com alta abrasão e forte ação oxidante |
| | E | A densidade e umidade dos insumos poderá alterar |
| | DA | A massa poderá oscilar conforme o tempo |
| | E | A massa máxima é de 8000 kg |
| Material | E | Possuir resistência satisfatória a abrasão |
| | E | Resistência mecânica a flexão e torção |
| | E | Altura de um mecanismo ampliador de agitação entre 5 a 15 cm |
| | DA | Possibilidade de ser testado em outros materiais |
| Energia | E | Variação de tensões de trabalho em decorrência ao tempo |
| | E | Acionamento através dos sistemas de transmissão |
| Segurança | E | O equipamento deve atender requisitos da NR12 |
| Ergonomia | DA | Os acionamentos devem estar em posições com boa ergonomia |
| Manutenção | DA | O intervalo de manutenção preventiva deve ser maior que 6 meses |
| Prazos | E | O projeto detalhado deve estar pronto até junho 2019 |
| Custos | DA | O custo máximo do equipamento deve ser de R$ 5.000,00 |

Quadro 2. Lista de requisitos do projeto do produto

## 2.2 Concepção

Após o estabelecimento dos requisitos do projeto estar definida, passou-se para a segunda fase da metodologia de Pahl *et al.* (2005), estabelecendo a concepção do produto. Utilizando-se da lista de requisitos e a ferramenta de abstração, proposta pelos autores, se definiu a função global que o produto deve cumprir, o fluxograma mostrado na Figura 2 apresenta as entradas, saídas e a função global encontrada, assim como as Subfunções, que permitem a simplificação do desdobramento da função global para a subsequente busca da solução, e permite a interligação numa estrutura de função simples e não ambígua, necessárias para o atendimento da função principal.

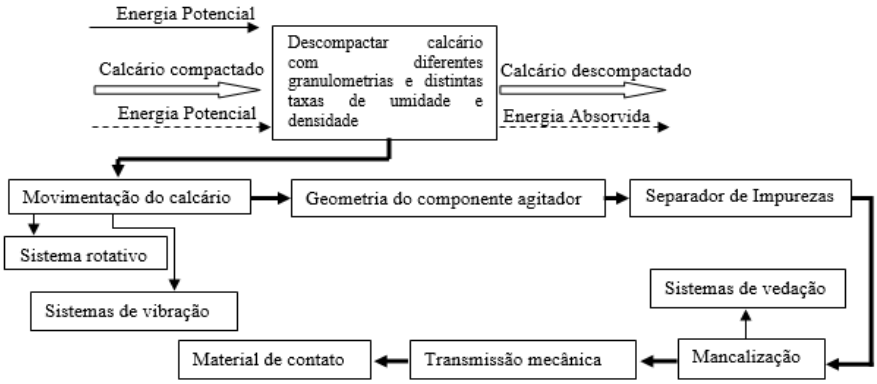



Figura 2. Função Global do produto e Subfunções

### 2.2.1 Variantes de solução

Foram determinadas soluções para cada subfunção, apresentadas através de uma matriz morfológica de solução, no qual a subfunção requerida para o atendimento da função global foi proposta. A matriz morfológica pode ser vista na Figura 3.

| Subfunção | Soluções 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| A Movimentação de calcário | Sistema mec. rotativo | Vibração linear | Vibradores rotativos |
| B Sistema Rotativo | Sistema de pás | Conjunto de marteletes | |
| C Sistemas de vibração | Motovibrador | Polia descentralizada | |
| D Geometria do componente agitador | redondo | Chato | |
| E Separador de Impurezas | Peneiras | Tela chapa expandida | |
| F Mancalização | Bucha de nylon | Mancal e rolamento | Buchas de bronze |
| G Sistema de vedação | Labirinto | Retentor | Bucha |
| H Transmissão mecânica | Pinhão e coroa(corrente) | Engrenagens | Caixa de transmissão |
| I Material de Contato | Aço 1020 | Inox | Bronze |

Figura 3. Matriz Morfologica

De acordo com a avaliação das possíveis soluções de cada subfunção analisada, considerando o atendimento a lista de requisitos, facilidades de produção, custos, nível de precisão e desempenho operacional. Nesta fase, observando a compatibilidade entre soluções determinadas para cada subfunção, especificou-se a duas variantes, denominadas V1 e V2, tendo suas características principais mostradas no Quadro 3.

| Variante V1 | Variante V2 |
|---|---|
| • Movimentação do calcário: Sistema mecânico rotativo<br>• Sistema Rotativo: Sistemas de pás<br>• Geometria com componente agitador: Perfil Redondo ou perfil Chato<br>• Separador de impurezas: Tela em chapa expandida;<br>• Mancalização: Mancal e rolamentos;<br>• Sistema de vedação: Labirinto;<br>• Transmissão mecânica: Pinhão e corrente<br>• Material de contato: Aço AISI 1020 | • Movimentação do calcário: Vibradores rotativos<br>• Sistema Rotativo: Moto vibrador<br>• Separador de impurezas: Tela em chapa expandida;<br>• Mancalização: Buchas de bronze<br>• Sistema de vedação: Buchas<br>• Transmissão mecânica: Caixas de transmissão<br>• Material de contato: Inox 304 |

Quadro 3. Variantes do Projeto de Produto

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da lista de requisitos, criada na fase de planejamento do produto, e das escolhas de soluções na matriz ordenadora, houve a criação de 2 variantes de solução, V1 e V2 onde:

**V1:** a variante V1 é composta por um sistema de agitador mecânico, onde possuirá dedos ou garfos na extremidade, que fará o contato direto com o calcário foi selecionado o perfil redondo, visto que essa geometria denota menos esforço devido sua área de contato ser menor, aumentado progressivamente conforme a penetração na massa. Contudo se o sistema na aplicação em campo se tornar ineficiente pela capacidade de movimentação do material, poderá ser utilizado a geometria de perfil chato ou retangular, desde modo compensando o arraste, porém deverá ser observado o torque ocasionado ao sistema de transmissão primário, que poderá diminuir a vida útil dos componentes devido o aumento dos esforços. A separação das impurezas é feita por tela expandida, visto que suas dimensões não permitem a passagem de impurezas, como pedras por exemplo, a passagem do restante do material é bem-vinda, mesmo com a passagem de pequenas impurezas não ocasionarão danos aos componentes nos processos posteriores. Na Mancalização, a seleção do mancal e rolamento se denota pela facilidade de manutenção e performance superior, e consequentemente custos mais acessíveis pois são mais utilizados comercialmente. A vedação é um item de muita preocupação, pois como a granulometria do calcario e afins é muito fina, empiricamente um pó, a sua vedação por meios convencionais é deficitária, visto que os movimentos rotacionais e utilização de retentores convencionais não conseguem suportar a pressão de contato e o pó por ser abrasivo, acaba comprometendo os ajustes e lubrificação dos componentes de mancalização, desta forma a única maneira encontrada é a utilização da vedação por labirinto, que mostra-se empiricamente a mais utilizada em sistema de vedação para pó. A transmissão mecânica por pinhão, corrente e coroa, embora não seja a mais eficiente, mostra-se viável por ser de baixo custo e conseguir atender da mesma forma o requisito conforme outros sistemas, a facilidade da manutenção e peças de reposição é outra vantagem do uso desse sistema. O material de contato pela questão incisiva de custo, boa soldabilidade e facilidade de produção, optou-se nessa secção a utilização do aço 1020.

**V2:** a variante V2 se torna interessante pelas possibilidades de novos mecanismos possíveis de utilização. Em paralelo com o que sugere Pahl *et al.* (2005), que nessa fase de concepção se potencialize a solução por inovações e soluções pouco convencionais, pelo método de abstração. Ou seja, se procure o geral e o principal através da generalização, que possibilita o tangenciamento por soluções principais do problema. A utilização de vibradores como moto vibradores se torna interessante pois é utilizado em silos pulmões que armazenam materiais com altas densidades e baixíssimas granulometrias, ou pós, como cimentos, pó de pedra e afins. A seleção da tela em chapa expandida ainda se torna interessante pela sua resistência. A mancalização de buchas de bronze é utilizável devido a sua característica de auto lubrificação e evita o encruamento dos contaminantes, porém seu desgaste é maior, podendo criar folgas acentuadas, o que também poderá afetar a vedação. A transmissão por caixas de transmissão é adequado por ter uma ótima eficiência de transmissão de toque, tem a vantagem da lubrificação em que seus componentes ficam imersos em óleo lubrificante e por sua construção já possui uma vedação mais robusta e confiável. Contudo deverá ser analisado a questão de custos. Para o material de contato direto, o aço inoxidável é recomendado pois possui excelente resistência a abrasão, sendo uma opção interessante na medida que se busca uma durabilidade de trabalho considerável no equipamento.

A variante selecionada é a V1, pois atende integralmente a lista de requisitos, facilidades de produção, custos, nível de precisão e desempenho operacional. Nesta fase, observando a compatibilidade entre soluções determinadas para cada subfunção foi efetuado a modelagem em 3D, com auxílio de software, onde as principais soluções foram selecionadas, conforme mostra a Figura 4.

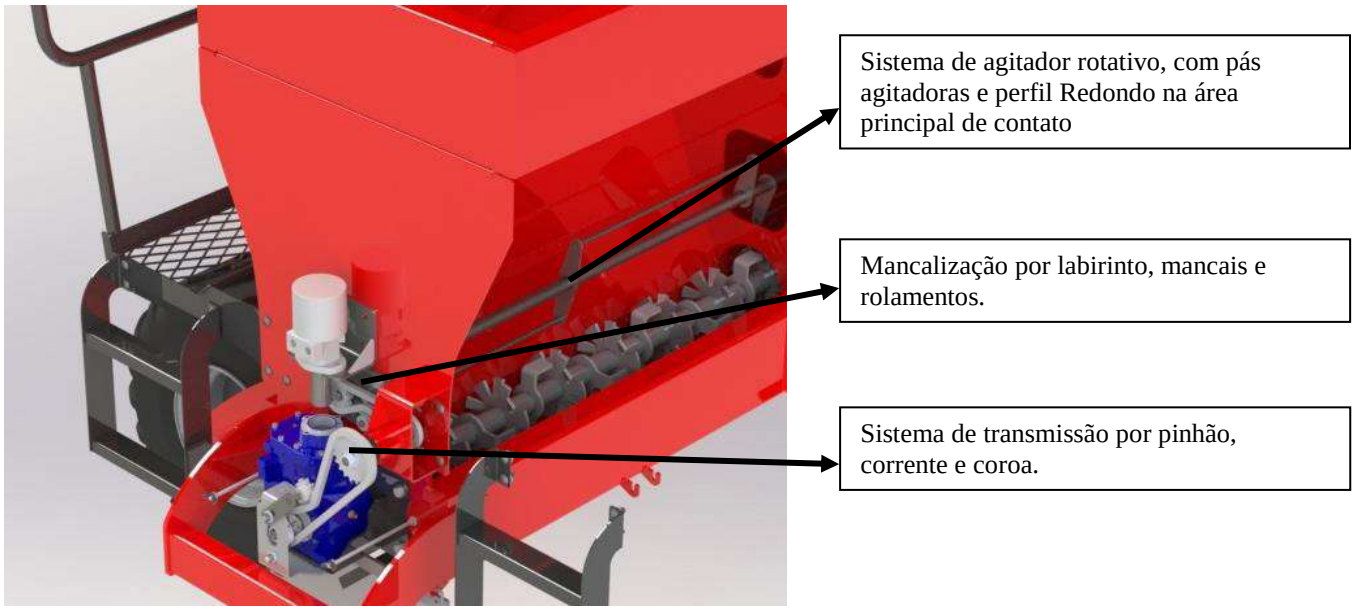



Figura 4. Modelagem em 3D das soluções selecionadas na variante V1

## 4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da concepção de produto seguindo as fases de uma metodologia, nesse caso as duas primeiras fases propostas pela metodologia de desenvolvimento de produto de Pahl *et al.* (2005), teve como objetivo principal criar uma concepção que sirva como uma base sólida para o restante do desenvolvimento do produto pelo projetista.

Além desse desenvolvimento mais objetivo e prático, com a aplicação de uma metodologia, existe um melhor controle de todas as fases do projeto, sabendo-se o que deve ser entregado, quais os requisitos exigidos e quais os desejos. O histórico das informações geradas na utilização de métodos é outro ponto que apresenta grande vantagem para projetos posteriores.

Conclui-se assim que a utilização de metodologias de planejamento e desenvolvimento de produtos apresentam diversas vantagens, e nesse artigo, proporcionou na criação e desenvolvimento de informações para o projeto preliminar e do detalhamento do conceito de um sistema de descompactação de calcário em uma máquina de distribuição por gravidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Back, Nelson., Ogliari, André., Dias, Acires,. Silva, Jonny C. Da. *Projeto Integrado de Produtos*. 1ª ed. Editora Manole, São Paulo, 2008.

Pahl, Gerhard., Beitz, Wolfgang., Feldhusem, jörg. e Grote, Karl H. *Projeto na Engenharia*. 6ª ed. Editora Blucher, São Paulo, 2005.

Silveira, G.M. *As Máquinas para plantar*. Editora Globo, p. 257, Rio de Janeiro, 1989.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PERDAS DE CARGA NA VARIABILIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE SEMENTES DE AVEIA EM SEMEADORA PNEUMÁTICA

**Juliano Perin**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
140485@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo.*** *A agricultura moderna vem utilizando cada vez mais tecnologia em suas máquinas para buscar maior produtividade e agilidade na produção. O presente estudo se propõe a analisar a influência das perdas de carga na variabilidade da distribuição de sementes de aveia preta em semeadora pneumática autopropelida. Para isso foram realizados cálculos de perdas de carga nas tubulações e acessórios de um modelo genérico que contenha as mesmas características das máquinas existentes no mercado. Através dos cálculos, obteve-se as diferentes perdas de carga teóricas. Em seguida, foi realizado um ensaio em bancada para coletar as sementes dosadas em cada linha. Assim, foi possível comparar e perceber que as variações medidas não seguem a mesma lógica das perdas de carga. Desta forma, para minimizar as variações na semeadura, foram adicionados mais defletores de semente ao longo das barras, de modo a uniformizar a distribuição. O resultando obtido foi uma distribuição suficientemente uniforme.*

***Palavras chave****: Agricultura de precisão; tecnologia; culturas de inverno; autopropelida.*

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização, a humanidade foi se organizando de forma a produzir seu próprio alimento de maneira cíclica e programada, o que é conhecido como agricultura, embora a agricultura moderna seja muito recente. A evolução da humanidade fez com que cada indivíduo se especializasse numa profissão, como consequência apenas uma pequena parte das pessoas é responsável pela produção dos alimentos presentes na mesa de todo o mundo.

### 1.1 Importância da aveia no plantio direto

Como a aveia é uma cultivar de baixo custo e se desenvolve em terrenos diversos, se tornou comum o seu uso para compor palhadas de cobertura. O sistema de plantio direto faz uso dessa rotatividade de culturas.

Conforme descrito por Salton, Hernani e Fontes (1998), o plantio direto teve início no Brasil na década de 1970, com inúmeras vantagens sobre o plantio convencional, à princípio nos três estados do sul, onde havia grande degradação do solo. Sua aceitação foi maior no estado do Paraná, onde os custos para repor os nutrientes do solo degradado estavam superando os lucros obtidos na colheita.

Na atualidade, devido à falta de mão de obra na agricultura, se desencadeou um grande avanço tecnológico acerca das atividades agrícolas. A necessidade de se produzir mais em menos tempo e menos área, estimularam o desenvolvimento de tecnologias tanto de melhoramento genético das culturas, como de modernização das máquinas usadas para o cultivo. Com o surgimento da agricultura de precisão, os fabricantes de máquinas agrícolas passaram a dedicar mais atenção nos detalhes que dizem respeito à uniformidade e correta distribuição das sementes no solo, afinal, a produtividade de toda a lavoura é reflexo da produção de cada planta ali presente.

### 1.2 Modelos de semeadoras pneumáticas

Os modelos de semeadoras pneumáticas de precisão mais comumente encontradas, são também chamadas de semeadoras convencionais, pois a semente é incorporada ao solo. Outro modelo de semeadora, muito mais recente, consiste em uma semeadora autopropelida, que distribui as sementes sobre o solo, sem fazer a incorporação.

Normalmente esse tipo de semeadora é um compilado de funções, sendo a máquina também um pulverizador e/ou distribuidor de fertilizantes. A largura de trabalho é o grande diferencial dessas máquinas, sendo em torno de 30 (trinta) metros de largura, e realizam seu trabalho em velocidades superiores à 15 km/h. Como o próprio nome sugere, o que

diferencia uma semeadora convencional de uma autopropelida é que as convencionais necessitam ser tracionadas por um trator, enquanto as outras possuem o próprio sistema de tração.

O presente estudo se dispõe a verificar a influência das perdas de carga nos dutos que transportam sementes de aveia em uma semeadora pneumática. Dentro do trecho de transporte estudado, ou seja, distância do distribuidor até as linhas, acredita-se que exista interferência das perdas de carga na velocidade e pressão da mistura de ar e sementes, levando à uma variação na distribuição. Como consequência dessa variação, pode ocorrer diferença nas taxas de semente distribuída em cada linha.

### 1.3 Modelos construtivos de semeadoras pneumáticas

A forma construtiva das semeadoras é relativamente semelhante, pois a semente parte do reservatório principal, passando pelo sistema de dosagem, segue por tubos impulsionadas pela força do ar soprado pelo ventilador centrífugo até o distribuidor. O distribuidor faz a separação do fluxo de sementes, direcionando porções equivalentes para as linhas de plantio. A Figura 1 representa de maneira esquemática a forma construtiva das semeadoras pneumáticas.

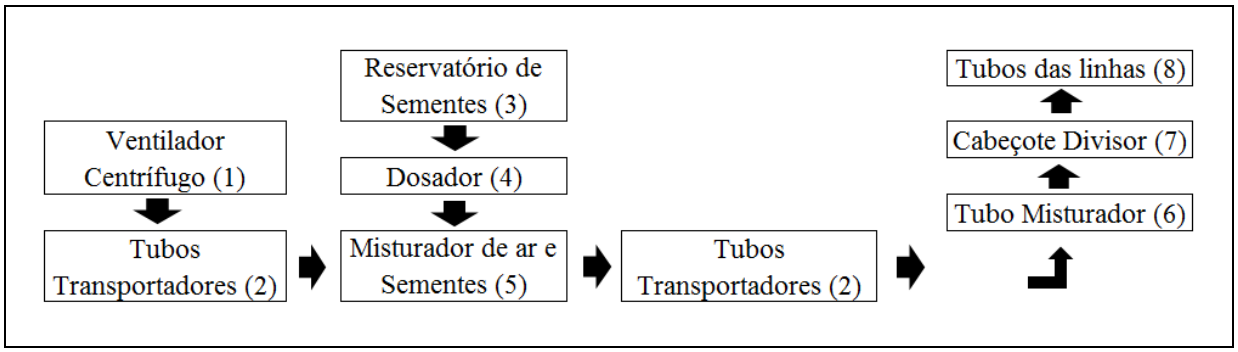



Figura 1: Fluxograma do circuito da semeadora.

Os componentes do sistema são: (1) ventilador centrífugo, (2) tubo transportador, (3) reservatório de sementes, (4) Dosador de sementes, (5) misturador de ar e sementes, (6) tubo misturador, (7) Cabeçote divisor, (8) tubos das linhas.

O estudo se baseia em elaborar um circuito conceitual de tubos simulando o trajeto das sementes de aveia, percorrido do distribuidor até a saída do duto. Como cada linha tem uma particularidade diferente de percurso, seja por comprimento, diâmetro dos tubos, ou quantidade de curvas, será analisado um circuito com oito linhas, o que representa uma semeadora de 16 (dezesseis) linhas em condições simétricas.

Considerando o espaçamento de 1,87 m (um metro e oitenta e sete centímetros). A representação se equivale a uma semeadora de 30 (trinta) metros de largura de trabalho, cujo objetivo é simular a distribuição no conceito de uma máquina auto propelida com barras de 30 (trinta) metros.

### 1.4 Objetivos Gerais e Específicos

O trabalho tem por objetivo realizar uma análise da influência das perdas de carga nos dutos de distribuição de sementes, para identificar pontos de melhoria, para obter uma distribuição de sementes uniforme.

Os objetivos específicos são:

- Definir um modelo diagrama para cálculo, contendo as singularidades presentes nas máquinas semeadoras de grãos finos;
- Realizar cálculos para quantificar as perdas de carga no sistema;
- Realizar experimento para obter dados necessários para o estudo;
- Cruzar informações para detectar influência das perdas de carga nas variações de distribuição;
- Se necessário, sugerir modificações nos dutos para reduzir a referida influência.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como o objetivo geral do presente estudo consiste em identificar a influência das perdas de carga nas variações de distribuição de sementes, e correlacionar com dados coletados, a metodologia escolhida parte de um circuito genérico que representa os tubos a serem analisados. Esse circuito contém características comuns ao trajeto percorrido pelas sementes numa semeadora autopropelida.

De acordo com o embasamento teórico levantado, foram executados os cálculos para estimar as diferenças de perdas de carga entre as linhas do modelo elaborado. Esses cálculos levaram em consideração principalmente o comprimento dos tubos, seus materiais e as curvas que compõem a respectiva linha analisada.

Tendo em mãos tais valores calculados, foram tabelados e representados de forma gráfica para melhor interpretação. A segunda parte do estudo se dá de forma prática, onde foi montado o modelo em bancada de ensaios e realizadas coletas e pesagens das quantias distribuídas em cada linha para verificação de possíveis variações.

Em seguida foram cruzados os valores obtidos nos cálculos, com os dados obtidos nas coletas, para identificar se existe correlação entre os valores calculados e os valores mensurados.

Em caso de haver relação direta entre os cálculos e as coletas, seriam avaliadas formas de minimizar as variações de perdas buscando uma homogeneidade na distribuição. Para o caso contrário, foi então necessário buscar outras possíveis soluções que permitiram atingir o objetivo da máquina: distribuição de sementes uniforme no solo.

### 2.1 Circuito de distribuição

O circuito elaborado representa de forma simplificada oito linhas de distribuição de sementes, posicionadas sobre o lado esquerdo da máquina, uma vez que o lado direito é simétrico e equivalente, não se faz necessário calcular ambos os lados. A definição de lados direito e esquerdo se dá cm base no sentido de deslocamento da máquina pela visão do operador.

Considerando que a largura de trabalho da máquina é de 30 (trinta) metros, o lado representado corresponde à 15 (quinze) metros. Sendo assim, as linhas de distribuição ficam espaçadas de 1870 mm.

Na Figura 2 é possível notar de forma esquemática o distribuidor de sementes (representado pelo círculo) e as oito linhas igualmente espaçadas ao longo da barra de pulverização. Durante a distribuição, a altura da barra fica em torno de 2 metros do chão.

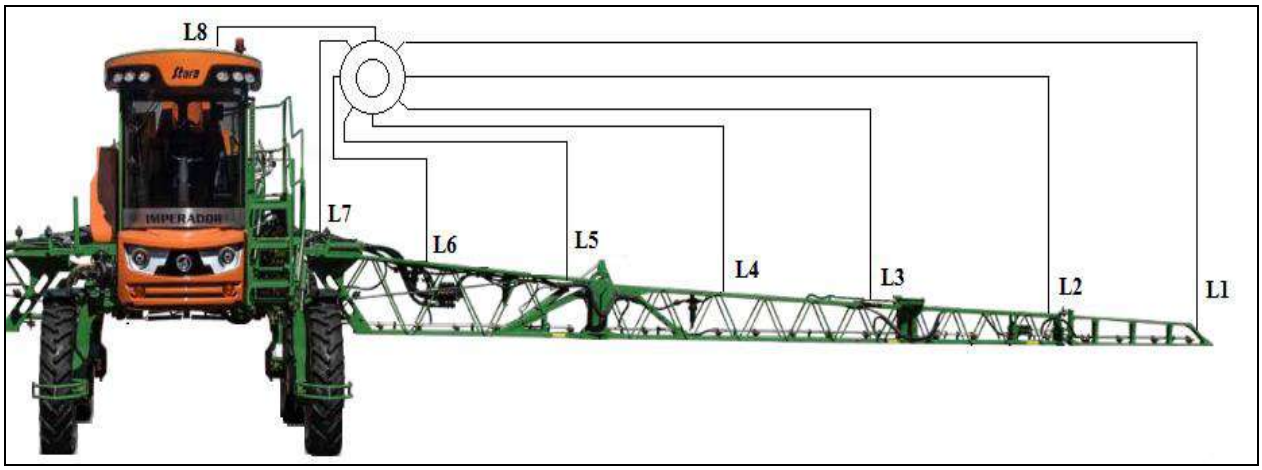



Figura 2: Circuito de distribuição de sementes.

### 2.2 Particularidades do modelo analisado

Dentre as principais características levadas em consideração, pode-se destacar a vazão de semente necessária, as singularidades nos tubos, o material e o comprimento dos tubos. Como cada linha de distribuição contém diferentes características, se tornaria extensa sua representação gráfica com desenhos detalhados, o que não é o objetivo do presente estudo.

### 2.3 Dimensionamento das capacidades

Para efeitos de cálculos, o modelo considera uma máquina com largura de trabalho de 30 (trinta) metros, com 16 (dezesseis) linhas de distribuição posicionadas de forma simétrica e equidistantes sobre as barras de um pulverizador autopropelido.

Considerando a taxa de sementes de aveia preta recomendada por hectare, de acordo com Flaresso et al. (2001), gira em torno de 80 (oitenta) kg/ha. Se forem consideradas as quantidades de sementes por unidade de área, o recomendado é de 120 sementes por metro quadrado. A aveia por ser uma cultura que não exige extrema precisão, mesmo diante de uma variação de até 10% na quantidade de sementes por metro quadrado apresenta ótimos resultados na produção.

A velocidade de trabalho de 16 (dezesseis) km/h, definida pelo autor, é usada para calcular a vazão de semente que passa pelos dutos transportadores. A vazão mássica é a razão entre a área semeada por intervalo de tempo (ha/h), e a massa distribuída sobre a referida área no mesmo intervalo de tempo (kg/ha).

### 2.4 Método de cálculo das perdas de carga no sistema

Diante de todos os dados levantados, foi possível realizar os cálculos das perdas de carga em cada linha de distribuição.

O número de Reynolds e o fator de fricção são os mesmos para todas as linhas, pois os valores de peso específico, velocidade, diâmetro do tubo e viscosidade dinâmica são os mesmos para todas as linhas. As perdas de carga foram calculadas separadamente para os trechos de tubos de polietileno e PVC, pelo motivo de terem rugosidades distintas.

### 2.5 Ensaio experimental

Conforme a sequência proposta, após a avaliação analítica, foram realizados testes de bancada para coletar e mensurar a distribuição das sementes nas linhas montadas sobre as barra de pulverização. Para tal experimento foi utilizada uma semeadora convencional modelo Guapa Supra, do fabricante Stara Implementos agrícolas.

A semeadora possui um sistema de dosagem e ventilador centrífugo. Esse sistema faz a dosagem da semente controlado por sistema eletro-hidráulico, sendo possível variar a taxa de distribuição de acordo com a necessidade. A Figura 3 mostra a semeadora mencionada.



Figura 3: Semeadora Guapa Supra.

### 2.6 Montagem do experimento

Para a realização do experimento, foram utilizados um trator do fabricante Case IH, modelo Magnum com potência de 340 CV. Acoplada ao trator, uma semeadora convencional de grãos finos modelo Guapa supra. Servindo de bancada, aproximou-se um pulverizador autopropelido Imperador 3.0, com potência de 220 CV, também do fabricante Stara Implementos Agrícolas.

Inicialmente foi realizada a montagem do sistema de distribuição de sementes sobre as barras do pulverizador, com barras de pulverização de 30 metros. Os tubos utilizados são constituídos dos materiais polietileno para as partes que exigem flexibilidade, e PVC nos trechos retos, conforme mencionado nos cálculos de perdas de carga, para que se pudesse realizar o experimento com características mais próximas das teóricas.

O sistema de ar e dosagem de sementes utilizado, foi o da semeadora convencional de grãos finos, Guapa Supra. Colocando as duas máquinas próximas, se fez o desvio das sementes do distribuidor da semeadora Guapa Supra para os tubos dos distribuidores instalados na barra do pulverizador, utilizando tubos espiralados com diâmetro de 4 polegadas (101,4 mm).

Para simular a semeadura, foi utilizado o controlador eletrônico modelo Topper 5500. O controlador já estava previamente instalado na cabine do trator, pois é utilizado para controlar a distribuição da semente pela semeadora. O controlador eletrônico pode simular a distribuição mesmo com a máquina parada, pois os motores hidráulicos que acionam o dosador, e o ventilador centrífugo são controlados por eletroválvulas hidráulicas que recebem sinal do controlador Topper 5500. Dessa forma, é possível configurar a taxa de sementes desejada.

Para a realização das coletas, foi configurado a distribuição no controlador eletrônico de uma taxa de 80 kg por hectare, velocidade de trabalho de 16 km/h, e largura de trabalho de 15 metros. Em cada uma das oito saídas dos respectivos dutos foi fixado um saco de ráfia para coletar as sementes individualmente em cada linha.

Após a montagem do experimento, foram realizadas algumas coletas de verificação do funcionamento e calibração da taxa escolhida. Em seguida se fez dez coletas e respectivas pesagens da semente distribuída em cada linha.

A medição da quantidade de sementes dosada em cada linha foi tomada fazendo a pesagem da semente contida em cada saco após as respectivas tomadas de tempo. As coletas foram feitas em tempos iguais a três minutos. A cada coleta foi realizada a pesagem das sementes contidas em cada saco, e os valores obtidos foram registrados em planilhas para posterior análise.

## 2.7 Solução alternativa

Após a análise dos dados coletados no experimento, e feitas as observações pertinentes, se fez necessário buscar uma solução para amenizar as variações de distribuição, independentemente das variações de perdas de carga.

As linhas de distribuição inicialmente foram posicionadas à 1875 mm, cujos dispersores cobrem por igual as respectivas faixas de distribuição, quando distribuídos à uma altura da barra igual a dois metros. A Figura 4 mostra um dispersor de sementes, componente responsável por espalhar as sementes que saem do duto. As sementes saem do duto insufladas pelo ar, e ao chocar-se com a chapa defletora, se espalham para ambos os lados, atingindo no solo uma faixa de até dois metros de largura.



Figura 4: Dispersor de sementes.

Observando que a quantidade de sementes distribuída em cada linha é diferente, como consequência virá a ocorrer variações dentre as faixas de distribuição atendidas por cada linha, lembrando que essas variações, segundo FAVARIN, (2016), não devem ser superiores à 10%.

A partir da constatação de que a variabilidade na distribuição não dependia das diferentes perdas de carga, passou-se a estudar formas de melhorar a distribuição das sementes no solo. A forma encontrada para minimizar essas variações foi adicionar dispersores entre meios dos já existentes.

O projeto do distribuidor foi reajustado de oito para quinze saídas. E foram montadas sete novas linhas de distribuição entre as oito linhas já existentes. Com a nova disposição dos dispersores, foi possível obter o intercruzamento das sementes de cada dispersor com os dispersores mais próximos de cada lado. Esse novo perfil de distribuição faz como se fosse semear duas vezes no mesmo lugar de forma cruzada.

## 2.8 Coletas no segundo experimento

Com a alteração, os dispersores ficaram mais próximos, porém as sementes continuam se espalhando por cerca de dois metros de largura em cada dispersor, o que proporciona o intercruzamento das faixas de distribuição atendidas por cada linha.

Após desenvolvidos novos distribuidores, agora com 15 saídas, foram repetidas as coletas. A configuração do Topper 5500 e da semeadora Guapa foram os mesmos. Novamente o procedimento foi de pesar as sementes dosadas em tempo de 3 minutos, repetindo o procedimento dez vezes, e os valores das pesagens adicionados à planilha.

## 2.9 Teste de bandejas

Sendo feita a análise dos dados do segundo teste, e observando que o objetivo de se obter variações menores de 10% fora alcançado em bancada, foi dada a sequência no projeto da semeadora. Após a montagem do reservatório, ventilador centrífugo, sistema de dosagem e distribuição sobre o pulverizador, para certificação do resultado realizou o teste de bandejas para análise de perfil transversal de semeadura.

O teste de bandejas consiste em se posicionar bandejas em linha reta, no solo onde será realizada a semeadura, na largura de trabalho do equipamento. As bandejas tem medidas padronizadas de 500x500 mm, e são posicionadas alinhadas de forma transversal ao deslocamento da semeadora.

Ao cruzar sobre as bandejas distribuindo sementes, as sementes que iriam incidir no solo sobre a área da bandeja ficam retidas na mesma. A Figura 5 mostra o teste de bandejas realizado, onde é possível observar a semeadora.



Figura 5: Teste de bandeja.

As sementes retidas nas bandejas são coletadas e contadas, com isso é possível saber quantas sementes caíram na área coberta pela bandeja. O teste além de medir de forma comparativa a variação entre as bandejas, serve também para saber se a quantidade de sementes por metro quadrado está de acordo com o desejado.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

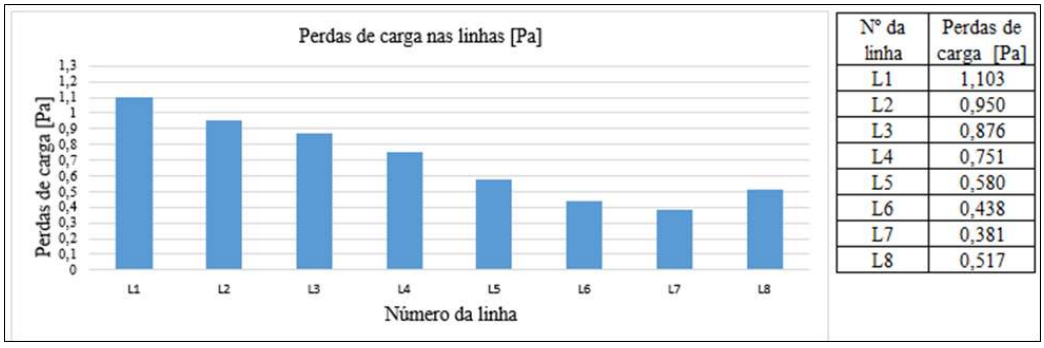
Diante da identificação dos principais requisitos necessários para uma semeadora pneumática, suas funções e particularidades, e identificados os pontos críticos para a variabilidade da distribuição de sementes, já é possível perceber que perdas de carga podem vir a afetar o bom funcionamento do sistema pneumático de transporte dos grãos nos dutos.

Para a avaliação da referida influência, foram coletados dados experimentais para comparar com os valores teóricos calculados. De acordo com os valores obtidos nas medições, foram avaliadas as variações que ocorrem durante a distribuição das sementes.

### 3.1 Análise das perdas de carga

Conforme se observa no circuito da Figura 3, cada linha de distribuição é composta de diferentes partes e respectivos comprimentos. Além dessas diferenças, variam as quantidades de curvas, o que implica em diferentes perdas de carga para cada linha.

Através dos resultados obtidos, foi plotado o gráfico da Figura 6, de forma a ilustrar a diferença entre as linhas analisadas.




| N° da linha | Perdas de carga [Pa] |
|---|---|
| L1 | 1,103 |
| L2 | 0,950 |
| L3 | 0,876 |
| L4 | 0,751 |
| L5 | 0,580 |
| L6 | 0,438 |
| L7 | 0,381 |
| L8 | 0,517 |

Figura 6: Variações das perdas de carga.

Visualmente, na Figura 16 é possível perceber que existem de fato diferentes perdas de carga em cada linha de distribuição. Nota-se também que as perdas de carga são diretamente proporcionais aos comprimentos de seus respectivos tubos, ou seja, quanto mais longa a linha, maior a perda de carga. Esse resultado é aceitável, visto que é coerente com a literatura estudada.

O que pode ser retirado desta análise, é que existem diferentes perdas de carga em cada linha de distribuição, porém se fazem necessários experimentos para identificar se estas variações são capazes de interferir no funcionamento do equipamento analisado.

### 3.2 Coletas realizadas no primeiro experimento

A cada coleta, os valores obtidos na pesagem das sementes dosadas em cada bocal distribuidor foram anotados e inseridos em uma planilha. Depois dos testes, os valores listados das coletas foram avaliados e organizados em uma tabela simplificada.

A análise dos dados coletados basicamente consiste em identificar os pesos extremos, destacando a linha com mais sementes e no outro extremo a linha com a menor quantidade de sementes dosada. Após identificados os dois extremos, calcula-se a diferença entre eles. Dividindo o valor obtido por cem, é possível verificar a variação percentual. O procedimento foi realizado para cada uma das dez coletas e calculado na respectiva planilha

Os valores dos pesos e suas respectivas linhas são mostrados na Tabela 1. Onde também estão destacados os valores das linhas com os pesos máximos e mínimos. A diferença entre a linha com maior vazão de semente, e a linha com a menor vazão foi calculada em forma percentual para tornar mais visível a respectiva diferença e saber se o objetivo de ficar abaixo de 10% foi alcançado. Os valores percentuais calculados estão expostos na última coluna da Tabela.

| Nº Linha | L1[kg] | L2[kg] | L3[kg] | L4[kg] | L5[kg] | L6[kg] | L7[kg] | L8[kg] | Dif. % Máx/Mín |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coleta 1 | 3,12 | 3,16 | 3,14 | 3,27 | 3,35 | 3,11 | 3,22 | 3,14 | 7,52% |
| Coleta 2 | 3,23 | 2,87 | 2,96 | 3,29 | 3,07 | 3,07 | 3,12 | 3,1 | 13,59% |
| Coleta 3 | 2,92 | 2,77 | 2,98 | 2,88 | 2,99 | 2,87 | 2,9 | 3,02 | 8,57% |
| Coleta 4 | 3,33 | 3,09 | 3,17 | 3,04 | 3,39 | 3,13 | 2,99 | 3,3 | 12,57% |
| Coleta 5 | 2,88 | 3,14 | 2,93 | 2,94 | 2,96 | 2,8 | 2,79 | 3 | 11,94% |
| Coleta 6 | 3,01 | 3,03 | 3 | 3,13 | 3,16 | 3 | 3,09 | 2,99 | 5,57% |
| Coleta 7 | 2,77 | 2,89 | 2,88 | 2,88 | 2,9 | 3,04 | 3,16 | 3,16 | 13,17% |
| Coleta 8 | 2,78 | 3,26 | 3,2 | 3,32 | 2,99 | 2,87 | 3,2 | 2,69 | 18,75% |
| Coleta 9 | 3,3 | 3,4 | 3,25 | 3,4 | 3,22 | 3,45 | 3,13 | 3,19 | 9,72% |
| Coleta 10 | 3,18 | 3,16 | 3,15 | 3,15 | 3,18 | 3,18 | 3,3 | 3,2 | 4,70% |

Tabela 1: Pesagem das sementes.

Avaliando a Tabela 1, nota-se que existe variação de distribuição de uma linha para outra. Porém, essa variação se dá de modo aleatório, mudando a posição das linhas com máximas e mínimas dosagens, a cada coleta realizada.

Outra observação importante do ponto de vista da eficiência do equipamento, é a variação percentual de máximo e de mínimo entre as linhas. Nota-se que nas coletas 2, 4, 5, 7 e 8 a variação foi superior aos 10% requeridos na concepção do projeto, o que significa que dessa maneira o equipamento não atende aos requisitos do projeto. A figura 7 mostra o gráfico gerado a partir dos dados coletados no experimento, onde fica evidente a variação aleatória.

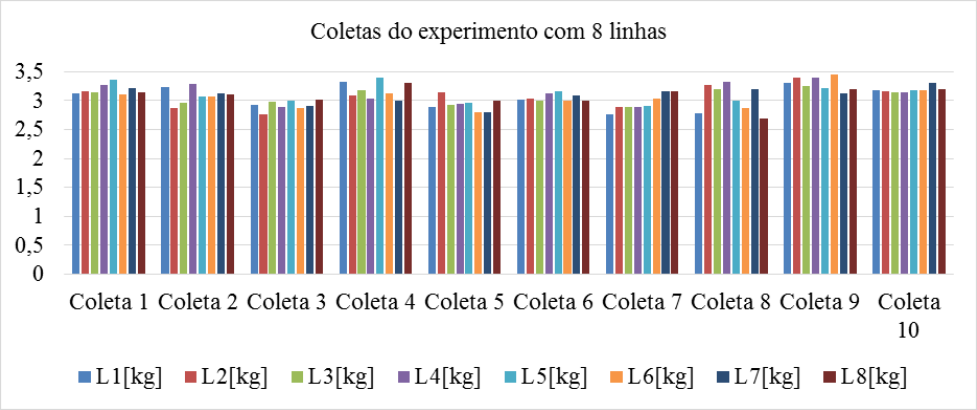



Figura 7: Gráfico do experimento.

### 3.3 Comparação teórico prática

É possível observar também, que as variações não seguem uma sequência relacionada com os cálculos efetuados previamente sobre as perdas de carga, pois se seguissem, deveriam ser distribuídas mais sementes nas linhas mais curtas e seguir uma linearidade considerável.

Dessa análise, pode ser concluído que se faz necessário buscar alternativas que garantam a minimização das variações, independentemente das perdas de carga. Embora o objetivo principal do presente estudo está em identificar a influência das perdas de carga na variabilidade da distribuição, é necessário o bom funcionamento do equipamento, mesmo que não esteja relacionada às referidas variações. Sendo necessário adequações no projeto.

### 3.4 Medições após alteração do projeto

Com as adequações no projeto concluídas, se fez novas coletas de pesagem para captar as vazões em cada uma das 15 linhas. Da mesma forma que no primeiro teste, os pesos medidos foram inseridos em planilha eletrônica. Com os dados coletados, foram realizados novamente os cálculos das variações percentuais entre máximos e mínimos. Os resultados das medições estão expostos na Tabela 2, onde também podem ser observadas as variações percentuais entre as linhas com maior e menor quantidade de semente.

| N° Linha | L1[kg] | L2[kg] | L3[kg] | L4[kg] | L5[kg] | L6[kg] | L7[kg] | L8[kg] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coleta 1 | 1,56 | 1,58 | 1,57 | 1,64 | 1,68 | 1,56 | 1,61 | 1,57 |
| Coleta 2 | 1,62 | 1,44 | 1,48 | 1,65 | 1,54 | 1,54 | 1,56 | 1,55 |
| Coleta 3 | 1,46 | 1,39 | 1,49 | 1,44 | 1,50 | 1,44 | 1,45 | 1,51 |
| Coleta 4 | 1,67 | 1,55 | 1,59 | 1,52 | 1,70 | 1,57 | 1,50 | 1,65 |
| Coleta 5 | 1,44 | 1,46 | 1,47 | 1,47 | 1,48 | 1,40 | 1,40 | 1,50 |
| Coleta 6 | 1,51 | 1,52 | 1,50 | 1,57 | 1,58 | 1,50 | 1,55 | 1,50 |
| Coleta 7 | 1,39 | 1,45 | 1,44 | 1,44 | 1,45 | 1,52 | 1,58 | 1,58 |
| Coleta 8 | 1,39 | 1,63 | 1,60 | 1,66 | 1,50 | 1,44 | 1,60 | 1,35 |
| Coleta 9 | 1,65 | 1,70 | 1,63 | 1,70 | 1,61 | 1,73 | 1,57 | 1,60 |
| Coleta 10 | 1,59 | 1,58 | 1,58 | 1,58 | 1,59 | 1,59 | 1,65 | 1,60 |
| N° Linha | L9[kg] | L10[kg] | L11[kg] | L12[kg] | L13[kg] | L14[kg] | L15[kg] | Dif. Máx/Mín |
| Coleta 1 | 1,56 | 1,64 | 1,57 | 1,58 | 1,68 | 1,56 | 1,61 | 3,76% |
| Coleta 2 | 1,62 | 1,65 | 1,48 | 1,44 | 1,54 | 1,54 | 1,56 | 6,80% |
| Coleta 3 | 1,46 | 1,44 | 1,49 | 1,39 | 1,50 | 1,44 | 1,45 | 4,29% |
| Coleta 4 | 1,67 | 1,52 | 1,59 | 1,55 | 1,70 | 1,57 | 1,51 | 6,29% |
| Coleta 5 | 1,44 | 1,47 | 1,47 | 1,57 | 1,48 | 1,40 | 1,54 | 5,97% |
| Coleta 6 | 1,51 | 1,57 | 1,50 | 1,52 | 1,58 | 1,50 | 1,55 | 2,79% |
| Coleta 7 | 1,39 | 1,44 | 1,44 | 1,45 | 1,45 | 1,52 | 1,58 | 6,59% |
| Coleta 8 | 1,40 | 1,66 | 1,60 | 1,63 | 1,50 | 1,44 | 1,60 | 9,38% |
| Coleta 9 | 1,65 | 1,70 | 1,63 | 1,70 | 1,61 | 1,73 | 1,57 | 4,86% |
| Coleta 10 | 1,59 | 1,58 | 1,58 | 1,58 | 1,59 | 1,59 | 1,65 | 2,35% |

Tabela 7: Pesagem das sementes segundo teste.

Novamente, no teste observou-se que não existe correlação entre as variações das quantidades em cada linha, pois continuam se comportando de forma aleatória. Como era de se esperar, a vazão em cada linha reduziu para cerca da metade da vazão medida anteriormente.

Como consequência, a variação percentual também reduziu. Dessa forma, se obteve êxito na solução do problema da variação, que estava acima de 10%, obtendo-se variação máxima de 9,38% na coleta de número 8.

### 3.5 Teste de bandeja

Embora o segundo teste realizado contemplando as 15 linhas resultou em valores dentro do esperado, um novo teste se faz necessário para aferir no campo o comportamento da semeadora. O novo teste tem a vantagem de contemplar também os fatores dinâmicos da distribuição, tais como as ondulações do terreno, efeitos do vento e componentes da velocidade.

O teste de bandeja realizado mostrou um resultado ainda melhor da distribuição. Quando comparado com o teste de bancada, o teste de bandeja identificou variações de no máximo 6,8% entre a bandeja com mais sementes e a bandeja com o menor número de sementes. Enquanto no teste de bancada, foram medidas variações de até 9,38%.

## 4. CONCLUSÕES

O estudo realizado permite observar que o projeto de uma semeadora é de fato bastante complexo, tendo em vista que se trata de uma máquina com muitas particularidades e que precisa atender a vários requisitos. Além de toda a parte de motorização, controles eletrônicos, mecânicos e hidráulicos e resistência estrutural que compõem o projeto da máquina, nota-se que a distribuição uniforme é de suma importância para o agricultor, uma vez que este é o objetivo final do produto.

Todos os requisitos exigem do projetista uma atenção especial acerca dos componentes da máquina que executam a dosagem, condução e distribuição das sementes.

A análise teórica realizada sobre o modelo diagrama criado se mostrou coerente com a literatura, obtendo-se resultados satisfatórios relacionados às perdas de carga do modelo teórico. Foi possível identificar os pontos que interferem nas perdas de carga, e mensurar sua interferência no fluxo, de acordo com o equacionamento relacionado.

Os cálculos realizados mostraram existir de fato diferenças de perdas de carga entre as linhas de distribuição, porém os testes realizados apontaram que não necessariamente essas perdas afetam a distribuição.

Diferentemente do que a hipótese inicial propunha, as variações de perdas de carga não têm relação com a variabilidade na distribuição das sementes. O que leva a concluir que embora significativas entre si, as variações de perdas de carga não são significativas a ponto de afetar a distribuição das sementes.

Como as perdas de carga não afetam a distribuição, não se fazem necessárias alterações nos dutos que conduzem a semente, visto que o sistema de dutos é leve e resistente para atender as necessidades estruturais da aplicação.

Assim, conforme proposto no início do estudo, se fizeram necessárias modificações no projeto inicial da máquina semeadora para obter a mínima variação especificada. Como as variações calculadas não interferiram na distribuição, não foram alterados os dutos distribuidores. A alteração escolhida foi de aumentar a quantidade de dispersores de semente.

Com o aumento da quantidade de dispersores, o objetivo foi alcançado. A comprovação se deu por dois ensaios realizados: teste de bancada e teste de bandejas. Com os resultados obtidos, foi possível viabilizar o funcionamento do equipamento.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAVARIN, José Laércio. Breve história da agricultura: Evolução do sistema tradicional. Piracicaba: Edusp, 2016. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/sites/default/files/2a%20aula-Historia%20agricultura.%20Evolu%C3%A7%C3%A3o%20sistema%20produ%C3%A7%C3%A3o-16-G.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

FLARESSO, Jefferson Araujo; GROSS, Celomar Daison; ALMEIDA, Edison Xavier de. Época e Densidade de Semeadura de Aveia Preta e Azevém: Material e Métodos. Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina: Revista Brasileira de Zootecnia, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v30n6s0/7406.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

SALTON, Júlio Cesar; HERNANI, Luis Carlos; FONTES, Clarice Zanoni. Sistema plantio direto. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistemaplantiodireto.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

Stara Implementos Agrícolas SA; Imperador 3.0, 2018. Disponível em: www.stara.com.br/produto/imperador-3-0. Acesso em 12 out. 2018.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DIMENSIONAMENTO DE UMA MONOVIA PARA TROLE EM SILOS ARMAZENADORES DE GRÃOS

**Leonardo Fiorentin**
**Dirceu Jesus Lima da Silva**
**Márcio Walber**
*Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900*
*126188@upf.br; mwalber@upf.br; dirceujls@upf.br*

***Resumo:*** *Neste estudo foi desenvolvido um projeto de monovia para troles no interior de silos armazenadores de grãos, com o intuito de atender os requisitos estabelecidos na norma de segurança dos bombeiros do Paraná (NPT27). Após uma breve apresentação sobre silos armazenadores de grãos, foram relatados dados estatísticos relacionados ao número de acidentes ocorridos em silos nos últimos anos, que levaram à necessidade do projeto em questão. Na execução do projeto, todos os possíveis fenômenos estruturais foram considerados e calculados de acordo com as normas técnicas, bem como o estudo de um software para dimensionamento de estruturas. Com a conclusão desta última parte, todos os resultados foram apresentados comprovando a segurança do dimensionamento realizado. Finalmente, é apresentada a conclusão do trabalho analisando os objetivos propostos e se os mesmos foram atendidos.*

***Palavras chave:*** *Monovia; Trole; Silos Armazenadores de Grãos; Segurança.*

## 1. INTRODUÇÃO

No cenário atual e com a constante evolução da tecnologia, cabe ao empreendedor estar sempre atualizado para atender a todas as demandas do mercado de trabalho em todos os setores da indústria, e no ramo agrícola não é diferente. A armazenagem de grãos é fundamental para produtores de grande escala, sendo feita quase que totalmente através de silos armazenadores de grãos. Os silos de grande porte geralmente são em estrutura metálica e possuem uma grande capacidade de armazenamento, motivo que talvez seja um dos principais causadores de acidentes atualmente. Devido à sua complexidade, é fundamental a estrutura atender a todas as normas de segurança para garantir a integridade dos trabalhadores. O presente trabalho irá apresentar o dimensionamento de uma estrutura metálica para monovia de troles, fixada no teto de silos armazenadores de grãos e utilizada para operações de rotina e resgate. Visando facilitar tanto fabricação quanto a montagem à campo, foi desenvolvida a estrutura completa utilizando a menor quantidade de peças possível, mas sempre respeitando todos os critérios de segurança. Com a conclusão do dimensionamento do projeto, foi feita uma comparação entre os esforços solicitantes e resistentes para verificar se a estrutura está dimensionada corretamente. Todo processo foi feito utilizando os *softwares* específicos e respeitando os critérios de cálculo das normas ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 8800:2008.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo irá abordar tópicos relacionados ao assunto em questão, com o intuito de proporcionar ao leitor um melhor entendimento do tema e também o motivo de sua escolha. Inicialmente será explicado o que são silos armazenadores de grãos. Após, a parte técnica do problema de engenharia proposto dará sequência ao restante do capítulo, abordando sobre troles e monovias, as normas de dimensionamento utilizadas e o *software* de cálculo utilizado.

### 2.1 Silos Armazenadores de Grãos

Segundo Milman (2002), silos são estruturas geralmente de forma cilíndrica, projetadas para armazenamento de grãos a granel e construídas em concreto ou chapas metálicas (corrugadas ou lisas). Existem diversos tipos de silos, podendo variar tanto o seu material quanto a sua geometria. Se tratando do material, os mais comuns são silos metálicos, silos de concreto armado e silos de alvenaria e madeira. A capacidade do silo varia de acordo com a necessidade de o agricultor armazenar o grão, bem como o tempo de armazenamento. De acordo com Lazzari (2015), é mais vantajoso ter três silos de duas mil toneladas cada um do que um silo de seis mil toneladas, isso porque é mais

seguro, além de custar menos e proporcionar um melhor controle em relação a pragas e insetos. Em relação à geometria, podemos citar os silos de fundo plano e fundo cônico. Será apresentado o silo de fundo plano pelo fato de o projeto se aplicar somente a estes silos. O silo de fundo plano é o mais comum, e para longos períodos de armazenagem, além de ter a instalação mais simples devido à sua base plana. A Figura 1 apresenta um modelo de silo com fundo plano.




Figura 1. Silo de base plana

### 2.2 Riscos no trabalho em silos e armazéns

Basta uma rápida pesquisa na Internet e as manchetes se repetem, mostrando a fragilidade de um setor com alta produtividade, mas com riscos diversos, e que precisa de um olhar atento para a Saúde e a Segurança do Trabalho. Por serem espaços confinados, os Silos oferecem diversos riscos à saúde dos trabalhadores. Alguns dos mais comuns são quedas, problemas ergonômicos, lesões no trato respiratório e do globo ocular (por se tratar de um ambiente escuro e empoeirado). Também podem ocorrer acidentes mais graves como soterramentos e explosões. Segundo levantamento da BBC (2018), "desde 2009, ao menos 106 pessoas morreram em silos de grãos no país, a grande maioria por soterramento." O levantamento indica que o trabalho em silos está entre as atividades com mais incidentes fatais no Brasil. A Figura 2 mostra esses dados por ano.

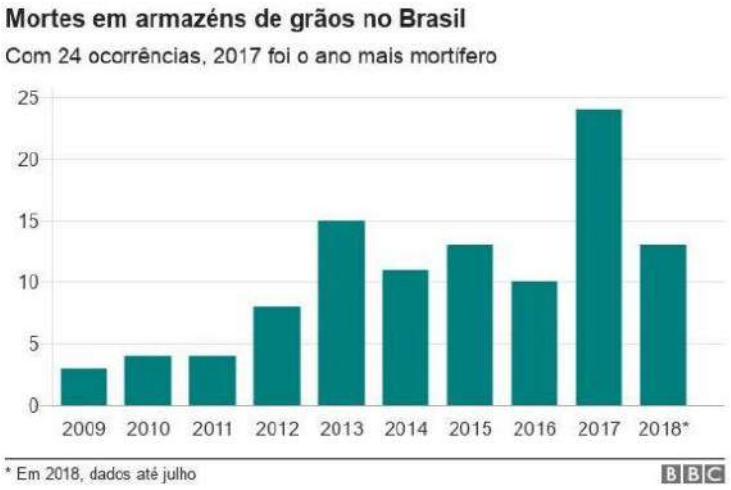



Figura 2. Mortes ocorridas desde 2009

O interior de um silo é um ambiente hostil, e um erro muito comum é o trabalhador tentar caminhar sobre os grãos sem estar ancorado por um cabo de segurança. A massa de grãos no centro do silo acaba cedendo e o trabalhador é sugado, causando a morte por asfixia em poucos segundos, conforme mostra a Figura 3.

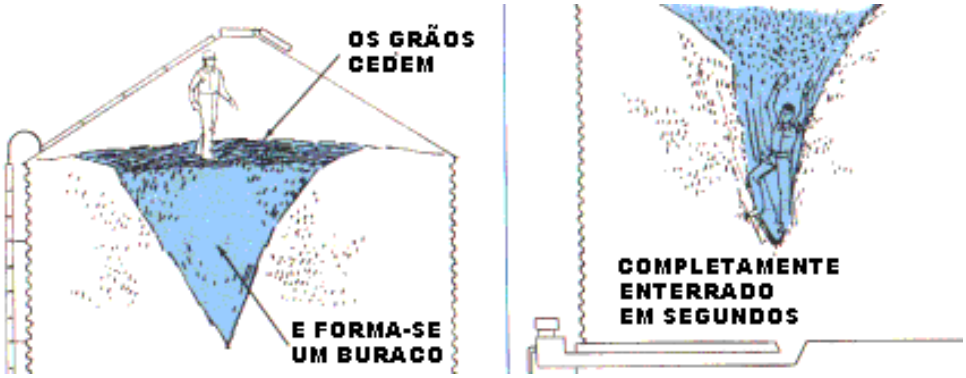



Figura 3. Fenômeno de soterramento em silos

Além de falhas por parte do operário, pode ocorrer também que o Silo não esteja devidamente adequado de acordo com as normas de Segurança. A norma do corpo de bombeiros do Paraná (NPT-027) diz o seguinte:

> 5.2.3.3 No teto dos silos deverá ser disposta viga continua do tipo "monotrilho". A viga deverá ser disposta de maneira a permitir acoplamento de dispositivo de deslocamento horizontal que contemple toda circunferência interna da estrutura. Será usada para fixação de cabo-guia nas atividades rotineiras e servirá de ancoragem para atividades de resgate. (NPT027, 2018)

O presente trabalho tem como objetivo projetar um sistema de fixação para a monovia, permitindo maior segurança nas operações rotineiras e de resgate.

### 2.3 Monovias e troles

Segundo a CSM (2019), "monovias são estruturas metálicas retilíneas ou curvilíneas formadas por uma só viga nas quais deslocam-se as talhas manuais ou elétricas". É um sistema de transportador contínuo de trilho e podem ser fixadas em vigas metálicas ou de concreto ou ter suas extremidades apoiadas em colunas. Geralmente o perfil da monovia é tipo "I" laminado ou soldado, em material ASTM A-572. Troles são carros móveis fixados em perfis metálicos, utilizados para movimentação e elevação de cargas. No presente estudo, servirá para os trabalhadores e bombeiros se ancorarem e realizarem tarefas de rotina e resgate. Na figura 4 pode ser visto um exemplo de monovia (estrutura amarela) e do trole (azul) acoplado à essa monovia.




Figura 4. Exemplo de monovia para trole

### 2.4 Software de cálculo RISA 3D

O *software RISA 3D* foi escolhido para dimensionar o perfil da monovia. Ele é caracterizado por ser o software de análise e cálculo estrutural mais popular dos Estados Unidos. Segundo RISA (2019), utilizando a formulação de elementos finitos através do processo de análise matricial, o *RISA 3D* possui uma interface intuitiva, permitindo a criação/edição de modelos de forma fácil e rápida. Disso resulta em uma alta produtividade a seus usuários. A gama de

aplicações para o software *RISA 3D* é vasta, abrangendo desde aplicações simples até análises complexas (como análises não lineares e análises modais, por exemplo). Além de suas capacidades de análise, tal software ainda permite a realização do dimensionamento de elementos estruturais de diferentes materiais e de acordo com várias versões de diferentes códigos de projeto. Como exemplo, cita-se a capacidade de realizar o dimensionamento de perfis de aço (perfis laminados e perfis formados a frio), madeira, concreto, alvenaria, entre outros.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão apresentadas todas as etapas seguidas para se chegar no objetivo final deste estudo. Iniciou-se com uma análise estrutural do telhado do silo para definir o sistema de fixação da monovia. Com a definição inicial do sistema estrutural, foi feito um modelamento da estrutura juntamente com o dimensionamento de cada elemento. Para melhor entendimento, verificar fluxograma ilustrado na Figura 5.

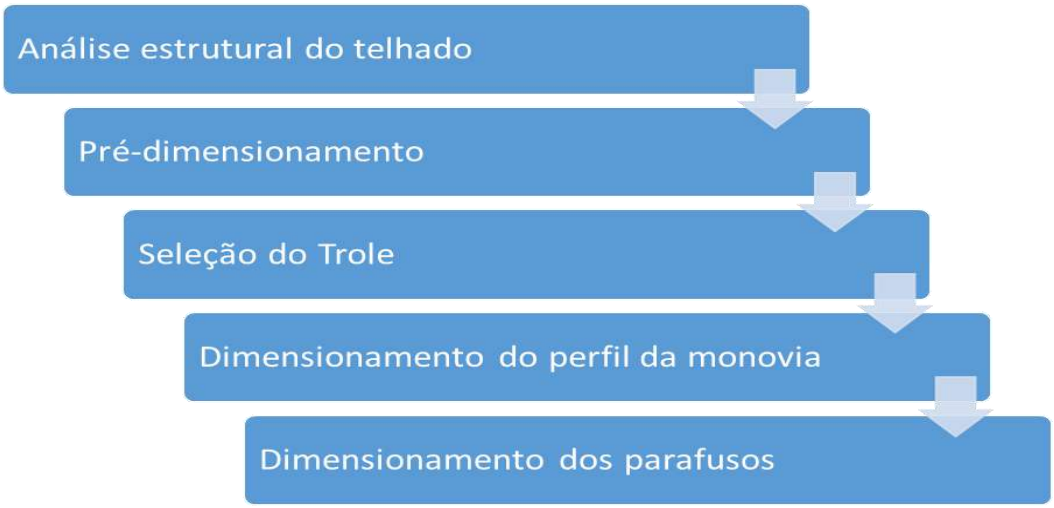



Figura 5. Fluxograma de etapas

### 3.1 Análise estrutural do telhado

O primeiro passo para a realização do projeto foi a análise da estrutura atual do silo. Na Figura 6r fixada a estrutura da monovia. pode ser vista a estrutura atual do teto do silo, onde deverá ser fixada a estrutura da monovia.

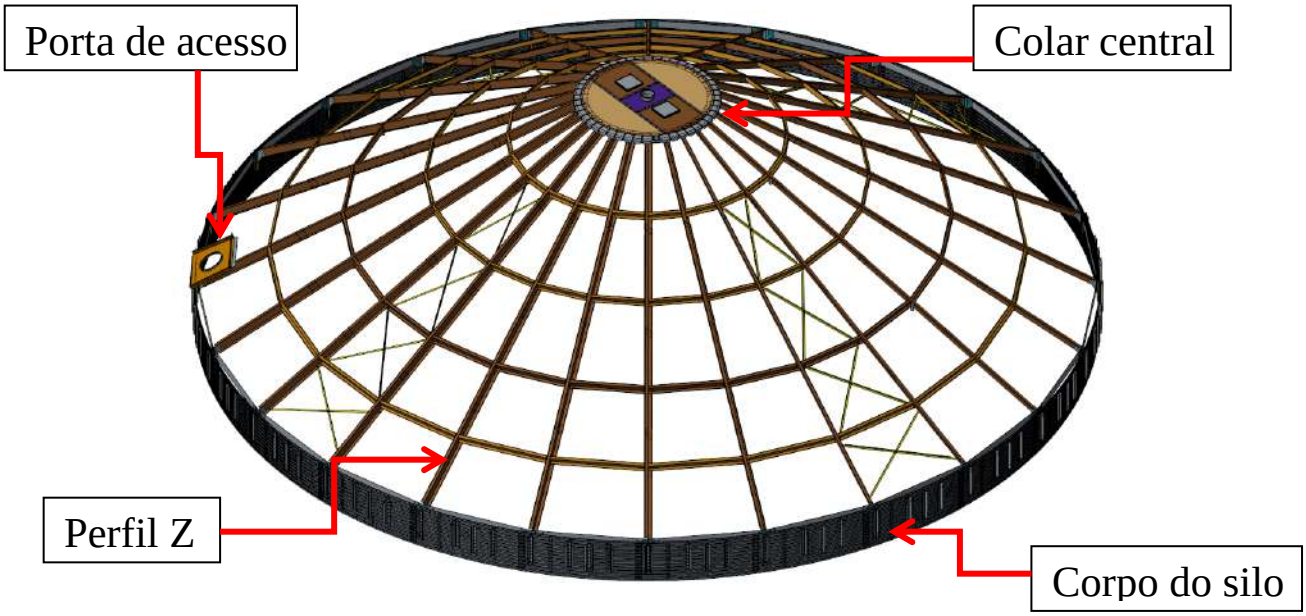



Figura 6. Estrutura do telhado

Para melhor entendimento e visualização, foram ocultadas as chapas do teto do silo para que toda estrutura de sustentação possa ser visualizada. Como a monovia deve percorrer todo perímetro interno do silo, a estrutura da mesma será fixada nos perfis Z, que estão dispostos desde o corpo do silo até o colar central, e ficará próxima à porta de acesso do silo para que os trabalhadores/bombeiros possam alcançar o trole e ancorar o cabo de segurança.

### 3.2 Análise estrutural do telhado

A ideia inicial deste projeto foi dimensionar uma monovia e seu sistema de fixação da forma mais econômica e produtiva possível, buscando utilizar o mínimo de peças facilitando tanto a produção quanto a montagem. Como pré-dimensionamento, foi assumido para a viga da monovia o perfil W150x13, por ser o perfil laminado de menor bitola disponível no catálogo da Gerdau. Para sua fixação, foi arbitrado um perfil T como suporte e parafusos de Ø3/8" para todas as conexões. Na Figura 7 pode ser visto o modelo pré-dimensionado.

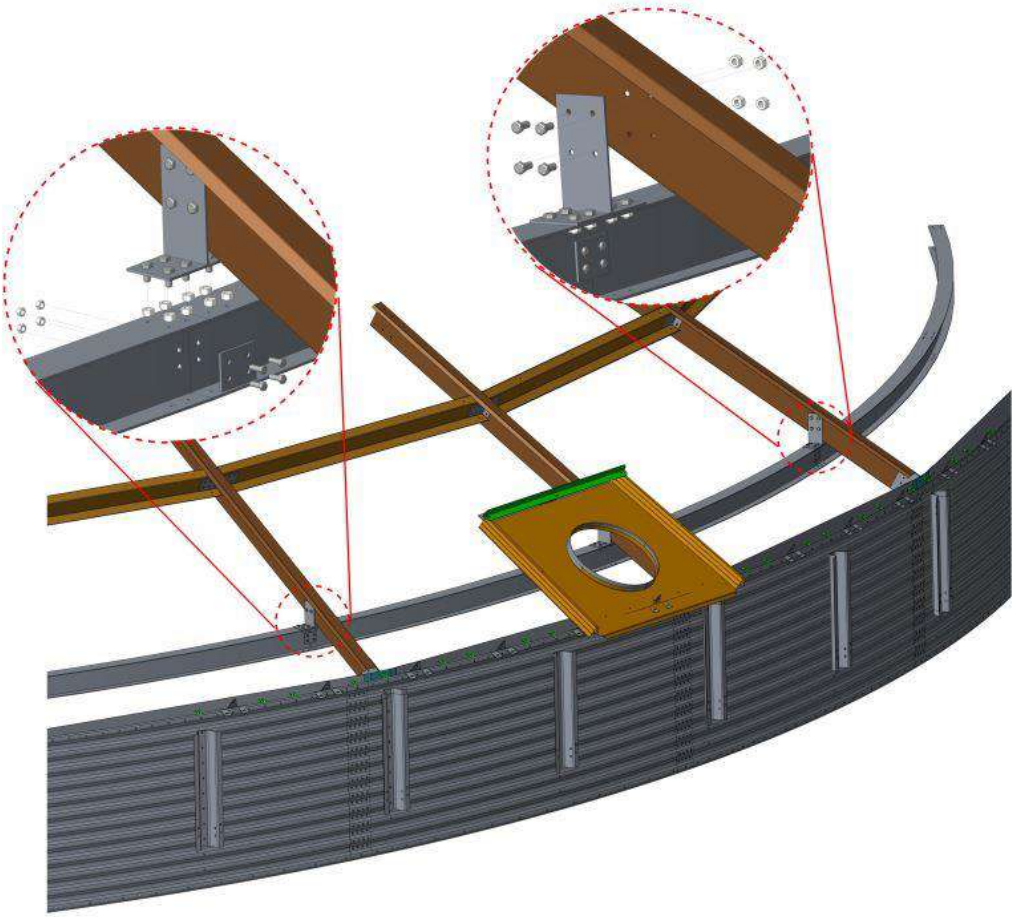


Figura 7. Pré-dimensionamento da monovia

A partir do modelo projetado foram feitos os cálculos para verificar se o sistema estrutural adotado suporta a carga requerida. Todo roteiro de cálculo será explicado nos próximos tópicos deste capítulo.

### 3.3 Seleção do trole

O trole foi selecionado para suportar uma carga de 20 kN, e consequentemente transmitir essa carga móvel para a viga da monovia. Como o perfil selecionado é um W150x13, para não ocorrer problemas de montagem foi necessária uma avaliação geométrica do trole em relação à viga. Analisando os modelos de trole dos fornecedores foi selecionado o trole Yale GCTY-2, da empresa CM do Brasil. Como a mesa do perfil selecionado possui 100mm de largura e o trole é ajustável para larguras entre 66 e 220mm de largura, não ocorrerão problemas de montagem. Na Figura 8 é possível verificar o trole selecionado.




Figura 8. Trole GCTY-2

### 3.4 Dimensionamento do perfil da monovia

A viga da monovia foi dimensionada para vencer dois vãos do teto do silo, ficando com um comprimento final de 5,27 metros. Uma única viga foi dividida em duas barras de 2,635 metros pois no centro da viga há um suporte fixando-a no teto do silo, assim como nas extremidades. Para melhor entendimento, verificar Figura 9.

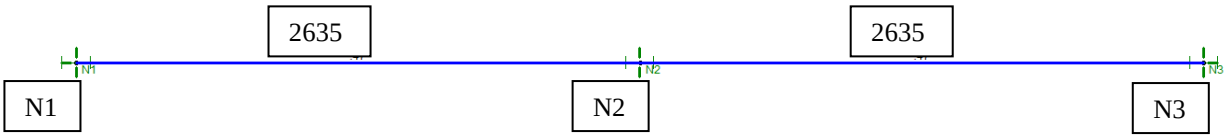



Figura 9. Monovia modelada no RISA

Com a viga modelada, o próximo passo foi a aplicação das restrições de movimento nos nós (N1, N2, N3). Foram aplicadas as restrições de translação em x, y e z devido às fixações. Para rotação, foi restringido o movimento em torno do eixo x devido ao suporte fixar a mesa superior da viga, impedindo esse movimento. Antes de aplicar o carregamento na viga, é definido o tipo de barra, seu perfil e o material mesma. Tudo isso foi definido no campo *Hot Rolled* (laminado a quente), pois o perfil adotado para a monovia foi um W150x13 em aço ASTM A572 Gr50. A Figura 10 mostra as propriedades adotadas.

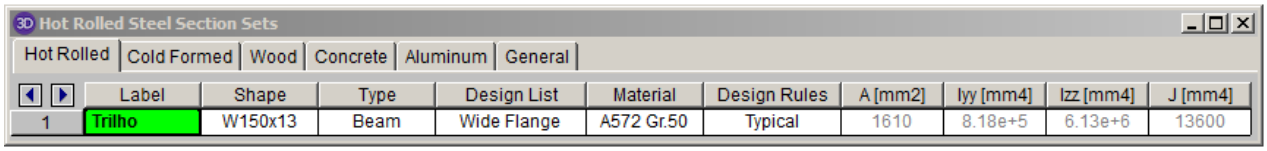



Figura 10. Propriedades do perfil

Com a monovia geometricamente desenhada no *software* e com todas as suas propriedades aplicadas, foi possível aplicar o carregamento. Esse carregamento é móvel devido ao movimento do trole e com valor definido em 20 kN. Após aplicar a carga móvel foi possível realizar a combinação das ações. Nesse caso, as duas únicas cargas são o Peso Próprio da estrutura e a própria carga móvel. Em *Load Combinations*, ambas as cargas foram multiplicadas pelos seus coeficientes de ponderação, conforme mostra a Figura 11.

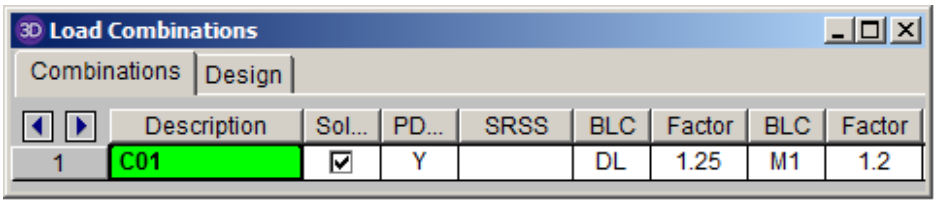



Figura 11. Combinação das ações

Concluído este último passo, está completo o dimensionamento da viga. O próximo passo é a solução do modelo criado no *software* para verificar se o perfil suporta a carga requerida.

### 3.5 Verificação dos parafusos

O perfil da monovia será fixado nos perfis Z do teto do silo através de um suporte em 'T', composto por duas chapas soldadas com espessura de 4,75mm. Em todos os locais onde é necessário parafuso, foi considerado parafuso ASTM A325 com Ø3/8". A primeira verificação é no contato entre a viga da monovia e o suporte 'T', onde os parafusos sofrerão efeito de tração. As equações de esforço resistente (3.1) e solicitante (3.2) estão de acordo com a norma ABNT NBR 8800:2008. A Figura 12 mostra a conexão nesse ponto.

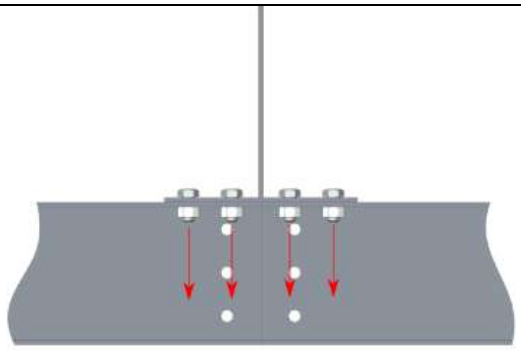
| | | |
|---|---|---|
|  | $F_{tRd} = \frac{A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}}$ | (3.1) |
| | $F_{tSd} = \frac{N_{tSd}}{n_{paraf}}$ | (3.2) |

Figura 12. Verificação dos parafusos tracionados

Onde: $F_{trd}$ = Força de tração resistente em cada parafuso (kN)
$A_{be}$ = Área efetiva da seção do parafuso (mm²)
$f_{ub}$ = Resistência à ruptura do parafuso ASTM A325 (kN/mm²)
$\gamma_{a2}$ = Coeficiente de segurança do material passa os ELU ligados à ruptura
$F_{tSd}$ = Força de tração solicitante em cada parafuso (kN)
$N_{tSd}$ = Força de tração solicitante (kN)
$n_{paraf}$ = Número de parafusos na conexão

A segunda verificação é no contato entre o suporte 'T' e o perfil 'Z' do teto do silo, onde os parafusos sofrerão efeito de cisalhamento. A equações de esforço resistente (3.3) e solicitante (3.4) estão de acordo com a norma ABNT NBR 14762:2010. A Figura 13 mostra a conexão nesse ponto.

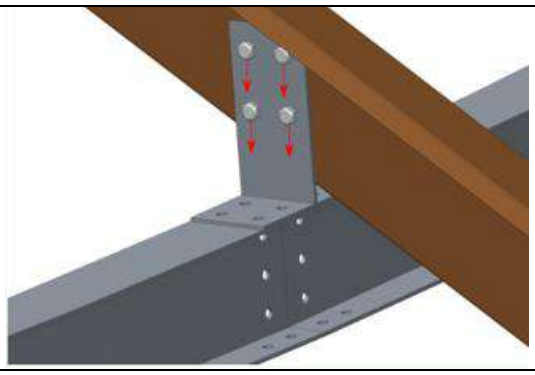
| | | |
|---|---|---|
|  | $F_{vRd} = \frac{0{,}4 . A_b \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}}$ | (3.3) |
| | $F_{vSd} = \frac{N_{tSd}}{n_{paraf}}$ | (3.4) |

Figura 13. Verificação dos parafusos sofrendo efeito cisalhante

Onde: $F_{vRd}$ = Força de cisalhamento resistente em cada parafuso (kN)
$A_b$ = Área bruta da seção do parafuso (mm²)
$F_{vSd}$ = Força de cisalhamento solicitante em cada parafuso (kN)

Concluída esta parte, é possível analisar os resultados para verificar se a estrutura adotada está apta a ser utilizada.

## 4. RESULTADOS

Após a aplicação da viga no software de cálculo e a aplicação das equações de verificação dos parafusos, é possível analisar os resultados para validar a estrutura da monovia.

### 4.1 Análise do perfil da monovia

Com a conclusão do modelo no *RISA 3D*, a aplicação da carga e a combinação das ações, foi possível solucionar o modelo. Na Figura 14, é possível verificar a viga após a solução do modelo e as reações nos apoios.

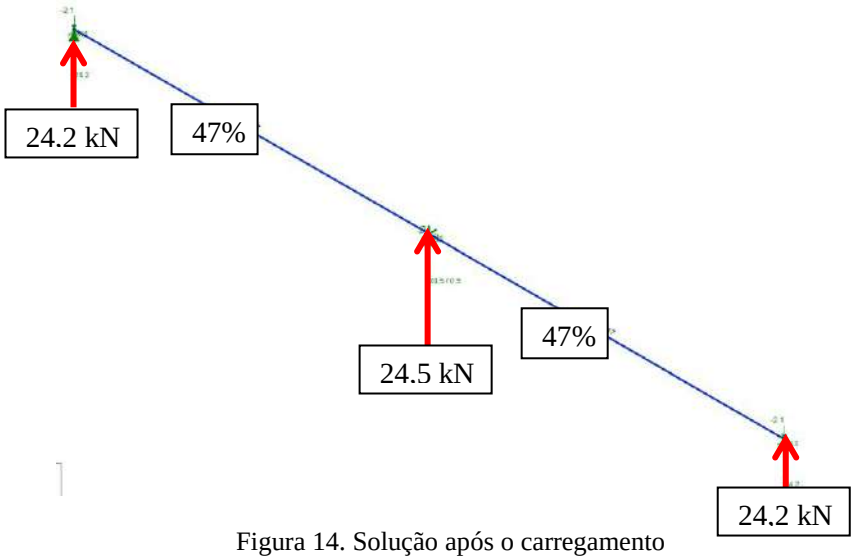



Figura 14. Solução após o carregamento

Como pode ser visto, o perfil utilizado para a monovia está dimensionado com folga, pois está com 47% de utilização. O perfil não irá falhar nas condições de trabalho em que estará submetido. O valor da reação de 24,5 kN no apoio central foi utilizado como $N_{tSd}$, ou seja, esforço solicitante naquele ponto.

### 4.2 Análise da conexão Viga da monovia/Suporte 'T'

A primeira verificação foi a dos parafusos, e foi feita de acordo com as equações 3.1 e 3.2. Os valores podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado dos parafusos sofrendo efeito de tração

| Força de tração | Magnitude (kN) |
|---|---|
| Força solicitante | 3,063 |
| Força resistente | 32,659 |

Ambos os valores calculados são para um único parafuso, ou seja, cada parafuso tem uma resistência 10 vezes maior do que aquela à qual está sendo solicitado.

### 4.3 Análise da conexão Suporte 'T'/Perfil 'Z' Teto do Silo

A segunda verificação foi a dos parafusos entre o suporte 'T' e a estrutura do telhado do silo, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 2 – Resultado dos parafusos sofrendo efeito de cisalhamento

| Força Cisalhante | Magnitude (kN) |
|---|---|
| Força Resistente | 17,418 |
| Força Solicitante | 6,125 |

Os valores calculados são por parafuso. Conclui-se então que os parafusos estão bem dimensionados, pois sua resistência é maior do que sua solicitação. Com a conclusão das verificações é possível afirmar que a estrutura não irá falhar e está dimensionada corretamente. Todos os fenômenos foram analisados e verificados devidamente. Na Tabela 3 estão listadas todas as peças do sistema estrutural proposto.

Tabela 3 – Relação de peças da estrutura

| Peça | Quantidade |
|---|---|
| Viga monovia – W150x13 – ASTM A572 Gr50 | 12 |
| Suporte – Perfil T – ASTM A572 Gr50 | 24 |
| Chapa de emenda – ASTM A572 Gr50 | 12 |
| Parafuso Sextavado Ø3/8” – ASTM A325 | 336 |
| Porca Sextavada Ø3/8” – ASTM A325 | 336 |

As dimensões da seção transversal do perfil adotado para a monovia podem ser vistas na Figura 15.

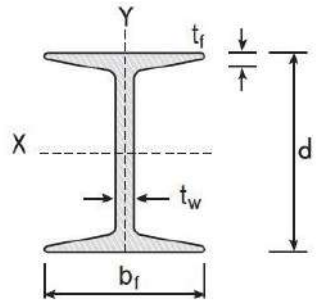
| Perfil W150x13 | Dimensões |
|---|---|
|  | d = 148 mm |
| | bf = 100 mm |
| | tw = 4,30 mm |
| | tf = 4,9 mm |
| | Área = 16,6 cm² |
| | Peso: 13 kg/m |



Figura 15. Dimensões perfil da monovia

A estrutura final da monovia do silo foi montada e representada em vermelho para facilitar a visualização, conforme Figura 16.




Figura 16. Estrutura final da monovia montada no silo

## 5. CONCLUSÃO

Considerando o objetivo geral desse trabalho, que era realizar o dimensionamento da monovia fixada no teto de um silo armazenador de grãos, é possível afirmar que o mesmo foi atendido, pois todo sistema estrutural foi projetado e dimensionado corretamente. Avaliando os objetivos específicos, todos foram atendidos. O sistema de fixação foi definido analisando a estrutura atual do modelo de silo adotado, e posteriormente foi feita a análise das cargas atuantes na estrutura selecionando o devido modelo de trole da monovia. Concluindo esta última parte, foi possível dimensionar o perfil da monovia, bem como todas as suas conexões e parafusos. Todos os cálculos foram realizados de acordo com as normas nacionais disponíveis, podendo obter-se um ótimo entendimento sobre cálculo estrutural. Finalmente, é possível afirmar que o modelo de silo estudado está de acordo com as exigências da norma de segurança citada, uma vez que toda estrutura para segurança dos trabalhadores foi dimensionada e validada para ser utilizada.

## 6. REFERENCIAS

ABNT NBR 14762. (2010). **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por Perfis Formados a Frio**.

ABNT NBR 8800. (2008). **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**.

BBC, J. F. (Agosto de 2018). **As silenciosas mortes de brasileiros soterrados em armazéns de grãos**. Fonte: BBC New Brasil: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45213579

CM, d. B. (2012). YALE **Troles Manuais e Mecânicos**. Acesso em 28 de Maio de 2019, disponível em CM: http://www.cmdobrasil.com.br/trole_yale.html#gct

CSM. (2019). **Monovias**. Acesso em Abril de 2019, disponível em CSM: https://www.csm.ind.br/engineering/produto/

Lazzari, F. A. (26 de janeiro de 2015). **A escolha do silo ideal**. Fonte: Campo & Negócios: http://www.revistacampoenegocios.com.br/a-escolha-do-silo-ideal/

Milman, M. J. (2002). **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária.

NPT027. (31 de Outubro de 2018). **UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E/ BENEFICIAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS E INSUMOS**. Paraná, Brasil

**RISA**. (2019). Acesso em Maio de 2019, disponível em RISA Company: https://risa.com/p_risa3d.html

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UMA ABASTECEDORA DE FERTILIZANTES DE ALTA VAZÃO

**Marcio Howe**
**Agenor Dias de Meira Junior**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS, CEP 99052-900
howemarcio@gmail.com, agenor@upf.br

**Márcio Walber**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS, CEP 99052-900
mwalber@upf.br

***Resumo:*** *O agronegócio no brasil representa uma disputa comercial acirrada entre os grandes players do mercado, principalmente na agricultura de escala. . Como ponto de referência a busca pela eficiência e redução de custos, demandando alta tecnologia também aos fabricantes de máquinas e implementos da cadeia. Com janelas de cultura cada vez mais curta para assertividade na produção, cada minuto é importante, no cerrado grandes equipamentos de distribuição de fertilizantes granulados são empregados, com alta tecnologia embarcada, agilidade e valor agregado. Logo exige-se um tempo de setup mínimo para atingir o máximo de horas produzidas/dia. Em encontro a este objetivo propõe-se o desenvolvimento de um equipamento para minimizar o tempo de setup que é imprescindível, sendo o abastecimento do fertilizante no distribuidor. Como premissa, a solução proposta deve atender a uma série de requisitos de segurança, normas, confiabilidade, padronização e custo, pois o reflexo no processo, implicara em ganho expressivo de hectares/hora aplicado, menor número de máquinas e operadores no processo, permitindo que os fertilizantes sejam aplicados no momento exato, sem prejuízo a cultura, além de redução no imobilizado das fazendas, entregando a eficácia desejada e inclusive economia financeira para o cliente.*

***Palavras chave:*** *Canudo, agricultura de escala, cerrado, DryBox, agronômia,*

## 1. INTRODUÇÃO

Na agricultura o processo de cultivo não se resume em conjunto Trator/plantadora, Distribuidores, Pulverizadores e Colhedoras, todo o processo agrícola não só em áreas de agricultura de escala, mas principalmente nela, demandam alto investimento e dimensionamento em máquinas e implementos para realizar a logística dos insumos, sejam eles sementes, fertilizantes, defensivos, água, além de consumíveis como combustível e lubrificantes, que devem atender as grandes maquinas no campo. Caso esse dimensionamento não esteja correto, sendo ele sub ou superdimensionado, implicara em perda operacional por ociosidade ou morosidade.

O trabalho em questão iniciou com a demanda da empresa SLC AGRÍCOLA, com sede em Porto Alegre/RS, devido ao expressividade de tamanho e dimensão das fazendas, chamadas de Unidades produtoras, o dimensionamento de mecanização é elaborado seguindo métricas para atender ao tempo das janelas de produção. Ainda SLC AGRÍCOLA relata seus diferencias competitivos e porque se tornou uma referência no cenário agrícola mundial:

"A SLC Agrícola desenvolveu, ao longo de mais de quarenta anos de história, um modelo de negócios baseado na eficiência operacional e na alta escala de produção. A Empresa introduziu no setor agrícola brasileiro técnicas de gestão modernas, oriundas do setor industrial."

O desenvolvimento proposto vai se aprofundar puramente ao processo de logística e abastecimento de fertilizantes para fazendas de escala, o artigo tem como objetivo elaborar os requisitos de projeto com base nas demandas presentes no cenário atual bem como nas limitações decorrentes do processo, buscando a solução explicitamente na máquina de abastecimento de fertilizantes como delimitado na introdução, utilizando-se da metodologia de projetos proposta por Pahl *et al* (2005), referente as quatro fases, focando na primeira-especificação , segunda-projeto conceitual e terceira -ante projeto, não contemplando a quarta fase de detalhamento. Os formatos de trabalho comtemplarão adaptações de Back (2008) e Baxter (2011). Também será desenvolvido o protótipo, patente e apresentado os resultados e conclusões.

### 1.1 Descrição do problema

O problema em questão foi apresentado pela equipe de dimensionamento de mecanização agrícola, relatando que os equipamentos de distribuição a lanço, apresentavam tempo de espera considerável para realizar o abastecimento de fertilizantes. A seguir a Figura 1 foi montado um croqui de como funciona o processo de logística e abastecimento de fertilizantes nas Unidades produtoras. Toda a logística é usada caminhões comerciais, não são usados tratores, devido as distancias longas e no caso o caminhão possuir capacidade de carga aceitável, o implemento rodoviário é utilizado caçambas basculantes. Do lado esquerdo está presente a fase de carregamento dentro da sede da fazenda, grandes áreas adquirem os produtos todos a granel, e estocam em baias . Tem o estacionamento que o veículo aguarda para entrar pela balança, o carregamento que é realizado por uma máquina Carregadeira, voltando a balança para controle e medição da massa carregada, após se inicia a logística até a área que deve entregue o fertilizante, no lado direito, o processo de abastecimento. Ao lado das estações contemplam o tempo médio que consome cada etapa.

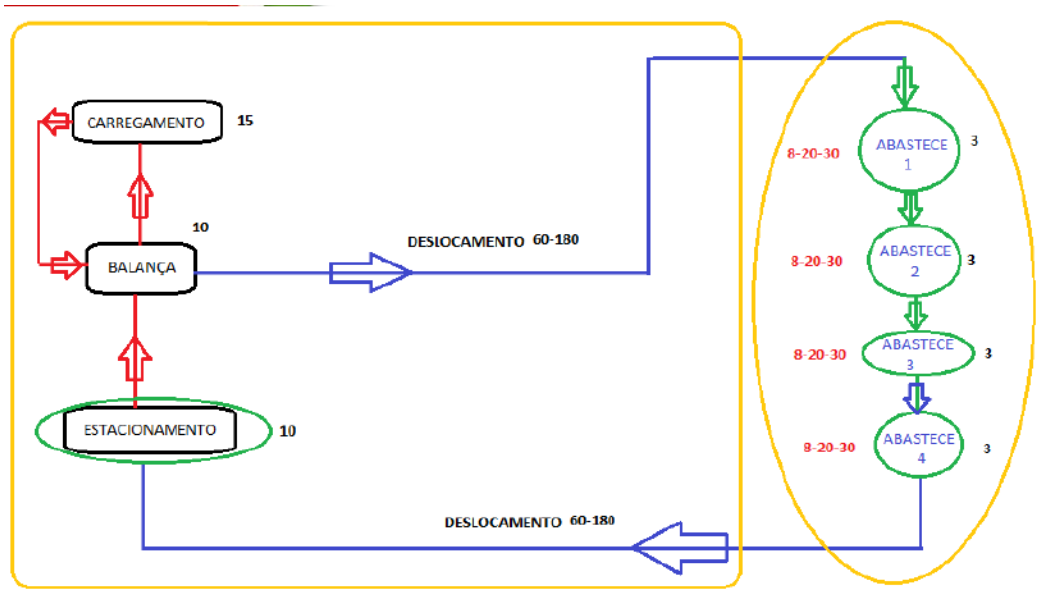



Figura 1. Croqui de logística e abastecimento de fertilizantes

Hoje o tempo de parada para abastecimento ocorre a cada ciclo, mas o tempo que o distribuidor realiza o seu trabalho é variável, geralmente com três taxas de vazão, conforme a Tabela 1, logo o tempo de abastecimento sempre será o mesmo.

Tabela 1 – Dados do processo de distribuição de fertilizantes

| EQUIPAMENTO: | HERCULES | TAXA DE COBERTURA | | |
|---|---|---|---|---|
| CAPAC. DE CARGA: | 5 TON | 100 KG/HC | 200 KG/HC | 600 KG/HC |
| TEMPO DE APLICAÇÃO (minutos) | | 30 | 20 | 8 |
| TEMPO DE ABASTECIMENTO (minutos) | | 15 | 15 | 15 |
| TEMPO DE UM CICLO: (minutos) | | 45 | 35 | 23 |
| FERTILIZANTE | | N | Kcl | P |

O problema em questão é o tempo de abastecimento, que neste caso fica imobilizado para continuar trabalhando. A redução no tempo de *"setup"* permitirá aumento no tempo de aplicação, ou seja, mais horas/dia com os "pratos" do distribuidor ligado. Embora outros benefícios poderão ser apontados após a proposta do trabalho realmente funcionar

Os grandes players do agronegócio esperam que a tecnologia venha para produzir mais ou gastar menos, ou seja, só a dois caminhos a seguir na operação agrícola, ou você produz mais ou gasta menos. Equipamentos e maquinas digitais, interligadas a internet tornando a fazenda conectada, com controle de qualidade do processo e da máquina, é fundamental para a eficiência e gestão do negócio.

Diante disto, é fundamental adotar técnicas padronizadas e organizadas para busca da solução no desenvolvimento de projetos, alinhando as demandas apontadas pelo cliente e mercado, permitindo que o produto quando concebido esteja posicionado de forma assertiva a resolução do problema.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da Abastecedora de fertilizantes de alta vazão, foram utilizadas as 2 primeiras fases propostas por Pahl *et al*.(2005). A especificação do produto, como resultado a lista de requisitos. A concepção com a abstração do problema e geração de conceitos para a tomada de decisão.

**2.1 Especificação do produto**

A demanda neste projeto foi requerida pelo cliente, várias reuniões foram realizadas na sede do cliente na cidade de Porto Alegre/RS, onde fica a matriz e o setor de dimensionamento agrícola. A partir destes encontros foram definidos pelo cliente, quais são os requisitos que o novo produto deve atender. O formato utilizado é o apresentado por Pahl *et al* (2005). A lista de requisitos contém a data, nome do projeto com um código provisório, número da folha e responsável, conforme ilustrado no Quadro 1. As letras na coluna R/D, significam R para Requisitos, e D para Desejos.

Quadro 1. Lista de requisitos

| **LOGO** | **DATA:** | **15/05/2017** | **FOLHA 1** |
|---|---|---|---|
| | **LISTA DE REQUISITOS** | | |
| | **ABASTECEDORA DE FERTILIZANTES DE ALTA VAZÃO 4410-XXXX** | | |
| | **R/D** | **REQUISITOS** | **RESPONSÁVEL** |
| A | R | Capacidade de descarga 3 Ton/Minuto. ( Fertilizante com 1200Kgf/m³) | Marcio |
| B | R | Caixa de carga 20m³ até 26,5m³. | |
| C | D | Tubo de abastecimento com abertura de 90°. | |
| D | R | Tubo de abastecimento levemente inclinado. | |
| E | D | Variação de vazão. | |
| F | R | Unidade hidráulica de acionamento do caminhão. | |
| G | D | Pontos de içamento para manutenção dos conjuntos. | |
| H | R | Permite carregamento com W20, 938, 924 e equivalentes. | |
| I | D | Com sistema de Lona Fácil. | |
| J | R | Com sobrechasssi para montagem em cima de base rodoviária. | |
| K | R | Acionamento via rádio controle e manual. | |
| L | R | Grade separadora de sólidos. | |

Os itens serão descriminados abaixo, por isso foi incluído com uma coluna em ordem alfabética para melhor localização:

A) Requisito: A capacidade de descarga deve ser de 3 toneladas por minuto, considerando um fertilizante com densidade de 1200 Kg/m³.
B) Requisito: A caixa de carga do equipamento deve ser a maior possível, porem deve atender aos requisitos da Lei da Balança para caminhões; Embora se tem um conceito que veículos que rodam fora das rodovias, podem transportar excesso de peso, não é pudente considerar essa decisão relevante, diante que os implementos rodoviários são dimensionados pelos fabricantes para um regime de trabalho. Falhas prematuras nos componentes podem causar acidentes, bem como o custo de manutenção acelerado. Em breve as unidades produtoras estarão com Normas ISO implementadas.
C) Desejo: Tubo de abastecimento deve ter no mínimo liberdade de abertura de 90 graus, podendo ser maior, menos não.
D) Requisito: Tubo de abastecimento levemente inclinado. Deve ser para vencer a altura e passar acima da caixa de carga do distribuidor, já que todos tem uma altura considerável de 4 metros.
E) Desejo: Variação de vazão: Em alguns casos será necessário utilizar a nova abastecedora para abastecimento de plantadouras, no qual a caixa de carga é menor, logo deve ser considerado uma menor vazão.
F) Requisito: Unidade de potência do caminhão: Se for possível utilizar a Tomada de Força do caminhão (TDP). Caso não, implica em custo de aquisição de um motor exclusivo. *** Só será possível definir após o dimensionamento.
G) Desejo: Pontos de içamento para manutenção: Deve-se pensar em disponibilizar pontos de içamento com centro de gravidade dimensionado, para facilitar a mão de obra dos operadores no momento da revisão e troca de componentes.
H) Requisito: Permite carregamento com W20, 938, 924 e equivalentes: Este item trata dos equipamentos disponíveis na sede das fazendas para realizar o carregamento de fertilizantes na caixa de carga da abastecedora. Alguns modelos são comuns, então a caixa de carga deve ter altura compatível com a concha de carregamento das maquinas citadas acima.

I) Desejo: Sistema de enlonamento: Considerar um sistema para enlonamento da carroceria de forma segura e rápida, devido as condições climáticas nas fazendas, chuvas ocorrem repentinamente durante o processo.
J) Requisito: Com sobre chassi para montagem em base rodoviária: O equipamento deverá ter um sobre-chassi para instalar em cima de uma base rodoviária, já que será rebocado por caminhões. As bases rodoviárias são locadas pela fazenda, logo deve ter medida compatível com o que tem no mercado.
K) Requisito: Acionamento via rádio controle e manual: Por questão de segurança, todo acesso "remoto" é bem-vindo, devido ao operador não precisar ficar junto a máquina. Prioridade é acionamento via rádio, máquinas manuais não são mais desejadas, pois requerem a decisão do operador. Se possível oferecer a opção de acionamento manual, em caso de pane do controle via rádio.
L) Requisito: Grade separadora de sólidos: A aquisição de fertilizantes em grande escala, muitas vezes se adquire a carga de um navio completo, então resíduos de pedras e peças podem estar presentes. Na sede da empresa, a carregadeira também pode acabar coletando pedras, então se faz necessário uma grade separadora. Como o distribuidor é com esteiras, um inconveniente destes pode danificar o equipamento.

### 2.2 Projeto conceitual e combinações dos princípios de funcionamento

O projeto conceitual é a segunda fase no desenvolvimento de novos produtos, após o esclarecimento, realiza a solução preliminar, elaborando a estrutura da função e busca por princípios de funcionamento apropriados, e sua combinação na estrutura de funcionamento.

A etapa inicia com a elaboração da abstração e posterior busca por princípio de funcionamento. A abstração trabalhou as características e foi desenvolvida em cinco etapas para a elaboração da estruturação da função, resultando na quinta etapa a função global: ABASTECEDORA DE FERTILIZANTES DE ALTA VAZÃO, COM ACIONAMENTO AUTOMÁTICO COM MONTAGEM INTERCAMBIÁVEL.

Após a realização das etapas de estruturação da função pode-se encerrar a inter-relação funcional, determinando o objetivo. Inicia-se a combinação dos princípios de acionamento, serão consideradas as possibilidades de execução que podem funcionar. Na elaboração dos princípios de funcionamento foram estudados mecanismos e dispositivos que podem permitir o funcionamento das subfunções, para que atendam ao funcionamento global. São apresentados na Figura 2, a matriz morfológica com as subfunções em uma coluna, e nas linhas possíveis concepções para o funcionamento do mecanismo, abaixo de cada ilustração está colocado o nome.

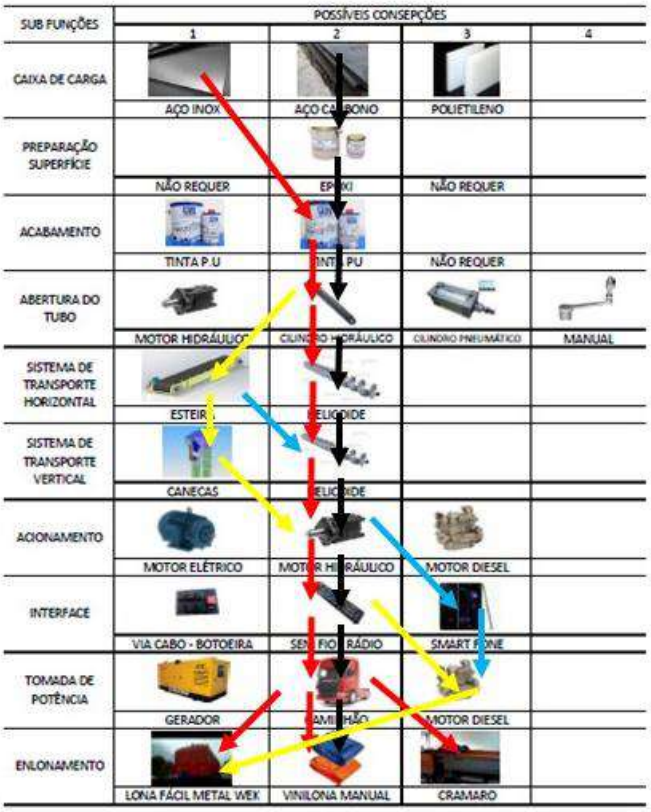



Figura 2. Matriz morfológica com as possíveis soluções.

Apresentado as possíveis soluções, foi realizado a discussão para a seleção das possíveis variantes de ligação, discutindo quesitos como o comportamento de sistemas elétricos e mecânicos na manipulação de fertilizantes, como durabilidade e manutenção. Algumas subfunções foram oferecidas matérias "nobres" para sua concepção, então nas possíveis ligações de soluções, foi levado em conta possíveis arranjos que convergem a economia para fabricação de um protótipo, entre eles a matéria prima.

Todas combinações são possíveis de realizar porem foi considerado custo de materiais para a decisão de algumas subfunções, conhecimento tecnológico, desenvolvimento de fornecedores e número de peças e componentes. A Tabela 3 apresenta a classificação em alto ou baixo, tratamento dado para cada subfunção. Os critérios de apontamento será ALTO ou BAIXO, sendo assim exemplificado e comparado com as possíveis concepções da subfunção;

- Custo de aquisição: Alto para custo ou Baixo para custo;
- Fornecedor na cadeia: Alto pra participante ou Baixo, que precisa desenvolver;
- Número de peças e componentes: Alto para grande número de peças e Baixo para poucas peças;
- Conhecimento: Disponibilidade intelectual em recursos humanos, Alta para subfunção conhecida e Baixa para subfunção pouco conhecida;

As variantes que não comtemplam avaliações, no caso, podem ser descartadas. O desenvolvimento de fornecedores pode ser reavaliado no futuro, caso imprevistos ou impedimentos tecnológicos não satisfaçam ao objetivo.

**2.4 Combinações escolhidas**

O Quadro 2, utilizou a matriz morfológica para possíveis combinações entre as soluções elencadas. Quanto a consepção de utilizar um gerador de energia, atentou-se que adentra a questões de segurança devido ao equipamento ser concebido em material metálico, também fica registrado que o uso desta proposta em ambientes severos, com contaminação, no caso de fertilizantes, deverá ser utilizado modelos de componentes blindados.

Todas soluções elencadas são possíveis dentro da técnica desenvolver, mas como apresentado na Figura 2, questões econômicas também foram levadas em conta, afim de oferecer equilíbrio entre as tecnologias escolhidas.

Quadro 2. Proposta de combinações e combinações escolhidas

| **PROPOSTA DE COMBINAÇÕES** | | | **COMBINAÇÃO REALIZADA** | |
|---|---|---|---|---|
| **Função** | **Sub função** | | **Função** | **Sub Função** |
| ·Caixa de carga em aço inox: | o Sem acabamento de superfície. | | ·Caixa de carga em aço carbono: | o Com primer Epóxi e Acabamento P.U. |
| ·Abertura do tubo: | o Cilindro hidráulico. | | ·Abertura do tubo: | o Com cilindro hidráulico. |
| ·Transporte horizontal: | o Esteira ou helicoide. | | ·Sistema de transporte horizontal: | o Esteira ou helicoide. |
| ·Transporte vertical: | o Helicoide. | | ·Sistema de transporte vertical: | o Helicoide. |
| ·Acionamento: | o Motor hidráulico. | | ·Acionamento: | o Motor hidráulico. |
| ·Interface: | o Controle remoto. | | ·Interface: | o Controle remoto. |
| ·Tomada de potência: | o Caminhão ou Motor Diesel. | | .Tomada de potência: | o Caminhão ou Motor Diesel. |
| ·Enlonamento: | o Lona Fácil Metalwek. | | ·Enlonamento: | o Lona fácil Metalwek. |

Os maiores consumidores de orçamento apontados foram:

**Caixa de carga:** Devida a massa de matéria prima que vai consumir, logo optou-se em considerar o Aço carbono com acabamento de superfície para uma combinação;

**Sistema de transporte:** São itens desenvolvidos com fornecedores, logo quanto menor o número de componentes, também facilitará a manutenção;

**Acionamento e tomada de potência:** Os acionamentos hidráulicos, demandam de uma fonte de energia, como bombas e controle por comandos e válvulas, bem como todo um aparato de reservatório de fluídos e circuito de entrada e retorno. Os caminhões estão limitados a no máximo fornecer 60 HP, na tomada de força, logo esse acessório que faz a ponte com a bomba hidráulica deve ser especial e reforçado, caso seja necessário um motor exclusivo, o orçamento também será elevado.

As duas combinações mostradas no Quadro 2 serão tratadas, por se tratar de um projeto novo, os riscos devem ser minimizados, e o impacto econômico neste momento é racional, pois como definido na última etapa da estruturação da função em "ABASTECEDORA DE FERTILIZANTES DE ALTA VAZÃO, COM ACIONAMENTO AUTOMÁTICO E MONTAGEM INTERCAMBIÁVEL."

Para a construção de um protótipo, mesmo que não se trabalhe com os melhores materiais, o que se espera é validar o objetivo do tempo de descarga, caso contrário não terá nenhum efeito os recursos empregados a mais neste momento. A dúvida quanto a quantidade de potência deverá ser sanada após a aprovação das premissas iniciais do projeto, bem como a precificação e contratos.

## 3. RESULTADOS

Para a definição de potência requerida pelo sistema proposto, será realizado a construção de uma parte do equipamento para determinação de torque, rotação e volume de transporte desejado. Com estes dados será possível projetar a quantidade de energia requerida e finalizar a questão de seleção, se o caminhão atende ou será necessário um motor exclusivo para o equipamento. Com o torque conhecido e dados de rotação calculados, se faz a seleção em catalógos de fabricantes de motores hidráulicos, de qual motor atende as grandezas requeridas. Os diagramas de funcionamento de um motores hidráulicos, fornecem fatores como carregamento axial, radial, perda de carga devem ser considerados. Este diagrama permite sair com a potência requerida, torque, rotação que são as grandezas fundamentais para o dimensionamento.

O projeto foi batizado de CN 30.0 SR AD, e um esboço foi realizado apresentado abaixo, conforme a Figura 3.

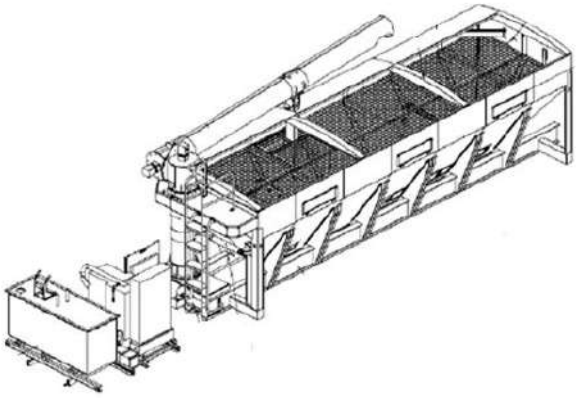


Figura 3. Ante projeto – CN 30.0 SR AD

O Ante projeto apresenta na parte frontal, a unidade de potência, com o reservatório hidráulico, motor a combustão acionadores hidráulicos, na sequência a caixa de carga em Aço Carbono com uma rosca helicoidal inferior para realizar o translado do fertilizante até a base da helicoide vertical, que eleva-rá o produto até o carter, união entre o tubo vertical e horizontal superior, onde está fixado o tubo horizontal, que movimenta-rá o fertilizantes até a sua extremidade, a qual possui uma abertura para descarga do fertilizante. Na parte superior nota-se a presença de uma grade, com função de separar possíveis sólidos do fertilizante granulado, como pedras e outros objetos com o propósito de manter a integridade do sistema de helicoides.

## 4. CONCLUSÃO

A metodologia de projeto tem papel fundamental na organização de um novo projeto, pois são *templates*, ou mapas, onde se tem um processo organizado e registrado, com as informações visitadas e desenvolvidas no processo. Na etapa de projeto não se tem os dados de campo, como testes de protótipos, neste sentido, possíveis melhorias e evolução do projeto como novas versões, no futuro, podem ser consultados para a tomada de decisões, pois se tem registrado e organizado as concepções e soluções, bem como o conceito adotado.

## 5. REFERÊNCIAS

BACK, N. et al. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri, SP: Manole, 2008.
BAXTER, M. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2011.
ROMANO. L. N. Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO MECÂNICO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE DO PRODUTO ORIUNDO DA COLHEITA PARA PENEIRAS DE COLHEDORAS

**Rubens Meneguzzi**
**André Carlos Grotto**
**Ritieli Baptista Mambrin**
**Leandro Paludo**
**Juliana Triches Boscardin**
**Wesley Chimento**
**Susana Klajn**
**Rose Grochot Gayeski**
**Ademilson Setti**
Faculdade CESURG, Av. Julio Borella, 1968, Centro Marau/RS
rubensmeneguzzi@cesurg.com.br; andre.grotto@hotmail.com; agronomia.marau@cesurg.com.br; diretorcomunicacao@cesurg.com.br; civil.marau@cesurg.com.br; wesleychimento@gmail.com; s.klajn@yahoo.com.br; seduc.proferose@gmail.com; *ade.setti@gmail.com*

**Resumo:** *A demanda de alimentos cresce significantemente a cada ano e o desenvolvimento de tratores, implementos agrícolas e colhedoras ajudam a otimizar esta demanda. A colheita mecanizada é a etapa final do processo de produtividade e uma das principais etapas no ciclo produtivo. As perdas que ocorrem durante a colheita devem ser mantidas dentro de padrões aceitáveis, pois implicam grandes prejuízos para agricultores e para o país. Pensando nisso, buscou-se o desenvolvimento do projeto de um sistema de transporte do produto oriundo da colheita, onde o trabalho visa estabelecer concepções para a substituição do bandejão da colhedora MF 5650. Para melhor entendimento fez-se uma introdução do funcionamento da colhedora, explicando cada um dos cinco principais sistemas desta máquina. Também avaliou-se índices de perdas na colheita, patentes relacionadas ao assunto e norma de segurança. Na metodologia avaliaram-se todas as partes que compõem o mecanismo, definindo-se requisitos técnicos e especificações do projeto. A concepção mais plausível obtida foi a de um transportador por canecas. Um detalhamento dos componentes, um dimensionamento mecânico e uma análise de custos também foram desenvolvidas. O resultado foi um projeto satisfatório, que atende ao exigências, com estrutura resistente aos esforços máximos que serão aplicados e com bom custo-benefício.*

***Palavras chave:*** *Projeto*, mecanismo, análise, perdas.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao constante crescimento populacional, a demanda por alimentos também acaba por crescer, o que gera aumentos significativos na produção de grãos no país e no mundo. Consequentemente a isso, aumenta gradativamente a necessidade de maiores áreas plantáveis destinadas a agricultura e de máquinas que executem o plantio e a colheita das culturas.

Nos dias atuais, com os grandes avanços tecnológicos, o trabalho braçal foi deixado de lado e deu lugar as máquinas. Os agricultores começaram a aumentar seus investimentos na mecanização agrícola, pois viram ali uma alternativa para suprir a exigência do mercado atual e a busca por redução de custos operacionais.

Conforme Nunes (2016), a colheita da cultura se trata da fase final das operações de campo no processo de produção. Com o crescimento populacional, o processo de colheita precisou sofrer uma grande mecanização, para assim, poder suprir a grande necessidade de produção de alimentos com menos pessoas trabalhando braçalmente na agricultura. Portanto, as máquinas empregadas neste processo necessitam ser eficientes e apresentando pouco desperdício de grãos.

Porém, um grande problema que os agricultores enfrentam é em relação à perda na hora da colheita. Segundo Nunes (2016), as perdas geram uma grande diminuição no lucro final, pois essas perdas acabam por representar que os esforços aplicados nas etapas anteriores foram em vão. Um dos grandes fatores da ocorrência destas perdas é a colheita em terrenos íngremes. Devido ao estado do Rio Grande do Sul possuir áreas das mais diversas formas, que são

destinadas para a agricultura, este problema de perda é muito frequente. A máquina quando trabalha além do seu limite de inclinação, inicia a apresentar índices de rendimentos menores, pois seus sistemas internos (sistema de corte e alimentação, sistema de trilha, sistema de separação, sistema de limpeza, sistema de transporte e armazenagem) não conseguem movimentar o produto da forma correta, e assim, o processamento do grão acaba por ficar comprometido e ocorre a perda. O presente trabalho visa realizar uma análise técnica e crítica do sistema atual de trilha e separação dos grãos no processo de colheita e uma metodologia para solucionar o problema de perdas de grãos no processo de colheita.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Silveira (1991) define colhedora como a máquina agrícola destinada a realizar, ao mesmo tempo, as operações de ceifa, trilha e limpeza dos grãos, e que pode ser utilizada tanto em cultura de pequenos grãos, como arroz, trigo, ervilha, aveia, centeio, cevada, sorgo, linho, alfafa, azevém, girassol, granola, assim como na soja e milho. Atualmente, com o grande desenvolvimento tecnológico, as colhedoras são do tipo mecanizada, ou seja, todas as etapas são realizadas por máquinas e o homem não exerce mais trabalho braçal. Um exemplo de máquina bastante encontrada nos dias atuais pode ser visto na Figura 1.

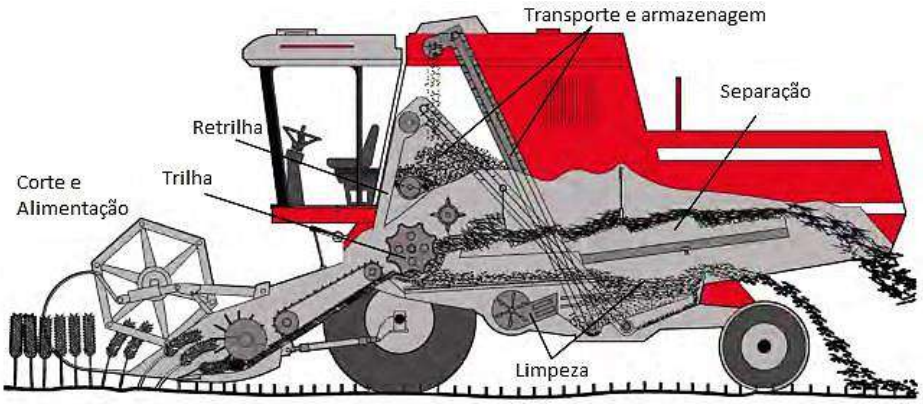



Figura 1 – Sistema de uma colhedoura
Fonte: Massey Ferguson, 2013

Assim, para desempenhar sua função, uma colhedora é constituída basicamente de cinco sistemas, que serão descritos a seguir, e estão representados na Figura 1 (SILVEIRA, 1991).Sistema de corte e alimentação; Sistema de trilha; Sistema de separação; Sistema de limpeza; Sistema de transporte e armazenagem.

Todo o processo de colheita com máquina implica em perda de produto, isto ocorre devido a aspectos da planta ou da máquina. No entanto, perdas de até um saco por hectare são toleráveis (SILVEIRA e CONTE, 2013). Devido à alta produtividade e alto valor econômico, Brabosa e Schmitz (2015) descrevem que as perdas na pré-colheita, colheita, transporte e armazenagem são estimadas em 12,5% do total dos grãos produzidos no Brasil, sendo que 4% da perda total acorrem apenas na pré-colheita e colheita.

Pode-se dizer que as perdas na trilha, na separação e na limpeza, representam de 12% a 15% das perdas totais da colhedora. Porém em certos casos, elas podem superar esses valores e se igualar ou ultrapassar a perda na plataforma de corte (BERGOLI e DIVENSI, 2015). Conforme resultados dos testes de desperdício, os mesmos demostram que em uma área com produtividade de 59,46 sacos por hectare (sc/ha), na região noroeste do Rio Grande do Sul, ocorre um desperdício total médio de 3,40 sc/ha. Desse valor, 0,46 sc/ha são derivados da pré-colheira, 1,73 sc/ha de perdas na plataforma e 1,21 sc/ha são perdas no sistema de trilha, separação e limpeza (BRABOSA e SCHMITZ, 2015). Com a análise dos dados acimas, destaca-se a importância de desenvolver um projeto de melhoria na trilha e limpeza dos produtos que passam pela colhedora.

### 2.1 Metodologia de Projeto

O conceito do sistema de transporte de grãos em peneiras de colhedoras será elaborado seguindo uma descrição de metodologia de projeto proposta por Pahl et al. (2005). A utilização de um método de projeto é importante, pois proporciona o planejamento, a análise de ferramentas e processos, métodos e configuração otimizada de sistemas complexos (Pahl et al., 2005). O produto a ser desenvolvido é um sistema considerado compatível à utilização de métodos de projeto e desenvolvimento de produto.

Sendo assim, o conceito proposto apresentará uma possível solução para a tarefa estipulada. As principais etapas do processo serão: elaboração da lista de requisitos, em que, a partir das características determinadas por uma linha mestra, define-se as especificações de projeto que devem ser observadas durante o desenvolvimento. Determinação da estrutura

funcional, onde através da avaliação de entradas e saídas, partindo de uma função global desdobrada em subfunções, define-se a sequência para cumprir a tarefa desejada. Por fim, é realizado o processo de busca de solução para combinar princípios de funcionamento, através de uma matriz ordenadora, gerando variantes de solução passiveis de avaliação.

No início do processo de projeto, para evitar problemas posteriores, existe uma necessidade de se esclarecer e formular a tarefa e consequentemente seus detalhes. O resultado do esclarecimento e do planejamento da tarefa é uma tabela que indicará os conteúdos essenciais e secundários do projeto.

Como descrito anteriormente, o uso da colhedora se tornou indispensável no processo de colheita do produto. No entanto, esta prática é de grande complexidade e acaba por apresentar índices de desperdícios de grãos elevados, em especial quando a atividade é exercida em solos com alto grau de inclinação (ladeiras). Quando a máquina autopropelida trabalha inclinada lateralmente, o produto da colheita cai sobre o bandejão e acaba se alojando em uma lateral, provocando perdas. Quando a máquina trabalha em aclive, o bandejão acabará transportando uma grande quantidade de produto, o que sobrecarregará as peneiras e também gerará desperdício. Já com a colhedora trabalhando em declive o problema é o inverso, pois o sistema de bandejão não conduzirá até as peneiras de limpeza a quantidade de produto necessária.

Com o objetivo de minimizar estes desperdícios na hora da colheita em ladeiras, será implantado um sistema de transporte do produto (grão, resíduos de palha, gravetos, poeira, grãos não trilhados, etc.) na parte interna da colhedora Massey Ferguson 5650, com o intuito de alimentar continuamente as peneiras das máquinas, independentemente da inclinação dos solos agrícolas. Para isso, será preciso a modificação do sistema de limpeza da colhedora, onde ocorrerá remoção do bandejão, o qual executa atualmente esta tarefa de alimentação das peneiras (Figura 2).

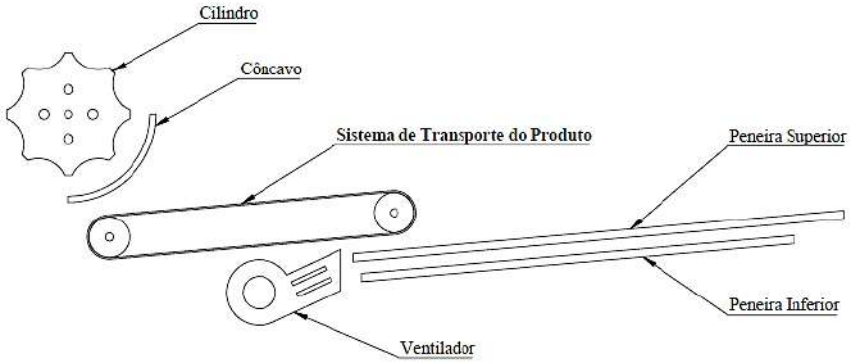



Figura 2 - Esquematização do mecanismo no sistema de trilha e limpeza da colhedora
Fonte: Autor

O produto passa pelo sistema de trilha e cai sobre o sistema de transporte, que gera a alimentação continua das peneiras, assim, evita escassez ou excesso de produto nas peneiras quando a colhedora trabalhar em diferentes inclinações. Esse fator gera grande resultado em relação ao desperdício de grãos. Deste modo, pode-se considera que o sistema de transporte do produto está estre o sistema de trilha e o sistema de limpeza da máquina.

Em primeira instância, tem-se o objetivo de desenvolver um mecanismo que seja capaz de atender a alguns requisitos mínimos: reduzir o desperdício de grão, descartar a utilização do bandejão e implantá-lo de forma segura no interior da colhedora MF5650, bem como evitar que outros sistemas da colhedora sejam prejudicados. Como a maioria destas máquinas não possui um mecanismo similar, o projeto pode ser considerado como inovador.

Na sequência do projeto avaliaram-se os requisitos necessários para o desenvolvimento do produto e construiu-se uma na lista de requisitos. Nesta lista foram descritos exigências e desejos com relação a cinemática, geometria, segurança e performance do sistema que deseja-se implementar.

Após a conclusão da fase de esclarecimento da tarefa, com a devida definição dos requisitos e planejamento do sistema, inicia-se a concepção. Esta é a etapa do projeto conceitual que possibilita a definição dos componentes que melhor atendam as especificações, ou seja, a projeção de possíveis soluções para o projeto.

Como descreve Pahl et al. (2005) concepção de projeto é a parte do projeto que, após o esclarecimento do problema, por isolamento dos problemas principais, elaboração de estruturas da função e busca de princípios de funcionamento apropriados e sua combinação na estrutura de funcionamento, define a solução preliminar. Assim sendo, a concepção pode ser considerada como a definição preliminar de uma solução.

A função global de um produto descreve a sua finalidade através da tarefa que ele necessita exercer, para assim, justificar sua existência. Esta função é construída através dos requisitos já pré-estabelecidos, sendo construída por diagramas de blocos, onde entram e saem do sistema energia, matéria e sinal.

Para o sistema proposto no presente trabalho, a função global trata-se do transporte do produto oriundo da colheita para as peneiras da colhedora. Para isso avaliou-se que as variáveis de entrada são energia, que pode ser transformada em força e deslocamento, e o produto que será transportado até as peneiras. Já as variáveis de saída são a energia dissipada e o produto transportado. A Figura 3 ilustra a função global do sistema.

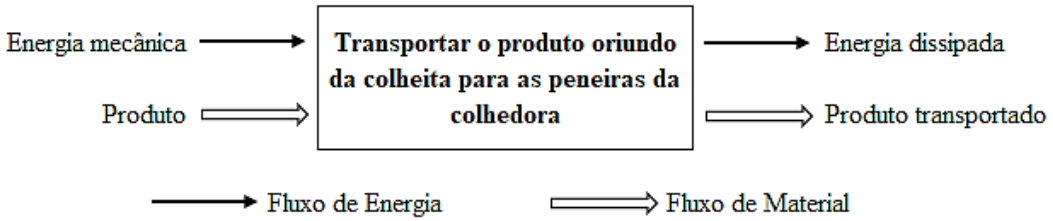



Figura 3 - Função global do sistema.
Fonte: Autores, 2019

Como pode ser observado na Figura 2, para o sistema exercer a função de transportar produto é necessário que se aplique uma energia mecânica, a qual é responsável pelo movimento circular uniforme do sistema e transporte do produto. O produto transportado é constituído pelos grãos e por todas as outras partes vegetais da planta, pois como ainda não passou pelo sistema de limpeza da colhedora, o grão se encontra misturado com o restante da planta. Ou seja, esse transportador carregará todo o material oriundo da colheita, com exceção de uma pequena quantidade de palha que já é separada na trilha.

Com a função global devidamente definida, a mesma será desdobrada em subfunções, onde pode-se caracterizar cada uma delas a seguir: Transformar energia em força e deslocamento: através da energia mecânica transmitida pelo motor da colhedora, ocorre o movimento de rotação do sistema de transporte do produto derivado da colheita; Formas de carregamento do produto: avalia-se a maneira mais precisa para se executar o carregamento e transporte do produto; Material utilizado no componente de carregamento: melhor material para construção do sistema, levando em conta fatores como resistência e custo; Conjunto estrutural: o sistema precisa contar com uma estrutura, onde o mecanismo é apoiado para o funcionamento. Fixação e apoio dos eixos girantes: o sistema precisa ser fixo de maneira apropriada à máquina para que o funcionamento ocorra da melhor maneira possível, sem excesso de vibrações e desbalanceamentos.

Após esclarecer cada subfunção do sistema de transporte do material derivado da colheita para as peneiras da colhedora, passa-se então para a etapa de esboço das possíveis soluções para cada uma das funções específicas. Para auxiliar nesse princípio será utilizada uma lista de concepções (Figura 4), que tem a função de apresentar todas as possíveis formas de solução em cada parte do mecanismo.

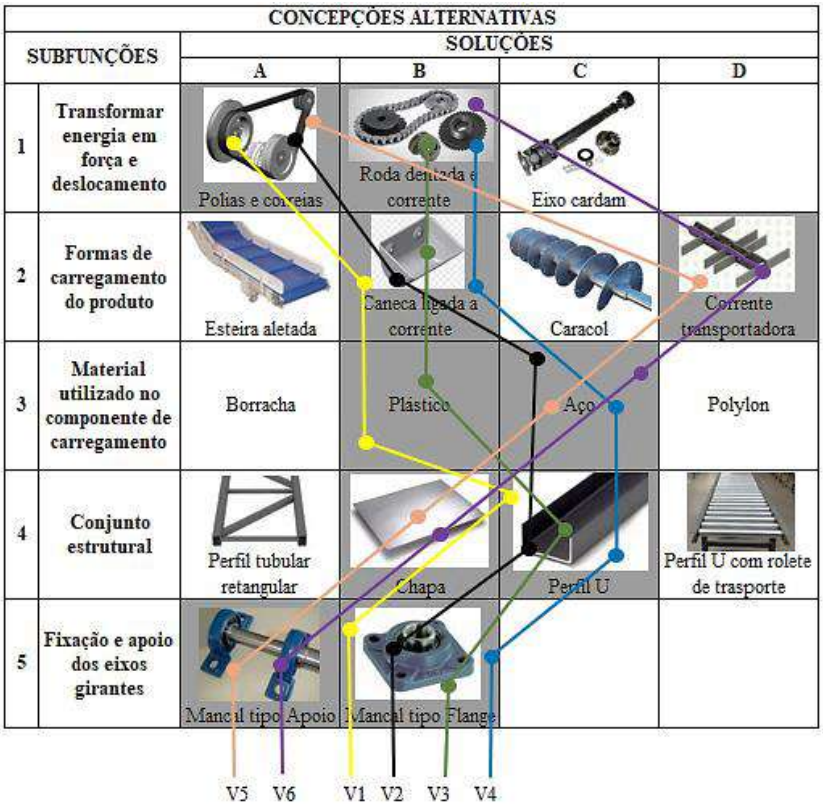



**Figura 4 - Lista de concepções**
Fonte: Autores, 2019

Para cada subfunção foi pesquisado de uma a quatro opções de soluções, as quais possuam embasamento teórico que atende de maneira satisfatória a tarefa pela qual foi destinada. A lista com os princípios de funcionamento, vista na Figura 4, é composta por cinco linhas, que são as subfunções, e por quatro colunas, as quais representam as soluções. Porém, pode-se verificar que nem todas as colunas estarão preenchidas, devido ao fato de algumas variantes de solução apresentarem menos de quatro alternativas de solução.

Após a identificação das soluções que possam melhor resolver as funções principais do produto, é necessária uma avalição para a escolha da solução que se julgue mais correta. Esta seleção foi realizada através da avaliação dos itens relacionados à custos, implementação, requisitos de segurança e conhecimento técnico ao itens.

A Variante 2, que transforma energia em forças e deslocamento através de polias e correias; o produto é carregado através de canecas ligadas a correntes, as canecas utilizadas são de aço; o conjunto estrutural é feito por perfil U; a fixação e apoio dos eixos girantes se dá através de mancais tipo flange, foi a variante que melhor atendeu aos requisitos de avaliação e será avançado o anteprojeto com base nos dados que a compõe.

Após a realização da escolha da variante que apresentava a melhor concepção, a próxima etapa é a execução do anteprojeto, de forma detalhada, para que se possa analisar o projeto. O funcionamento básico dos componentes listados como subfunções serão descritos de forma sucinta, para que se tenha o entendimento de como o conceito deve se comportar quando montado. Basicamente ocorrera o funcionamento da seguinte forma:

- Transformar energia em força e deslocamento: esta função terá solução atendida através de polias e correia, onde coloca-se uma polia movida na ponta do eixo que está ligado ao sistema de canecas e corrente. Essa polia é ligada a uma polia motora da colhedora.
- Formas de carregamento do produto: para atender esta função se utilizará um sistema de canecas conectadas a correntes. Dentre as restrições do projeto, este foi o sistema que mais se adequou a exercer a função desejada. O produto colhido é despejado no interior das canecas e é levado e descarregado sobre as peneiras, com uma grande porcentagem de eficiência;
- Material utilizado no componente de carregamento: Canecas de plástico estão sendo muito utilizadas atualmente, apresentando excelentes resultados devido à baixa massa e a alta resistência, porém não se encontrou as mesmas nas dimensões desejadas para o projeto, o que acarretaria elevados custos para fabricação por necessitarem de molde. Deste modo, julgou-se de mais fácil fabricação as canecas através do aço estrutural A36;
- Conjunto estrutural: usou-se um perfil U em cada extremidade lateral, os quais constituem a estrutura do mecanismo e serão unidos à colhedora;
- Fixação e apoio dos eixos girantes: essa função é exercida por mancais. Os utilizados foram do tipo flange, por serem de mais fácil fixação na alma do perfil U utilizada na estrutura. Esta fixação é fundamental para haver um bom funcionamento do sistema de transporte.

Para o desenvolvimento do produto, aplicou-se o modelamento tridimensional através de *software*, o que permitiu a simulação das configurações de cada componente do sistema proposto, tornando possível uma análise do projeto na qual pode-se chegar a soluções de menor complexidade. A elaboração do anteprojeto seguirá a ordem de montagem do sistema de transporte do produto oriundo da colheita. A Figura 5 apresenta o leiaute final desse sistema.



Figura 5 - Leiaute final do sistema de transporte de produto oriundo da colheita.
Fonte: Autores, 2019

A Figura 6 ilustra todos os componentes do sistema, onde os mesmos estão numerados (componentes iguais não possuem numeração), e na Tabela 1 estes componentes estão listados, com sua devida descrição e quantidade.

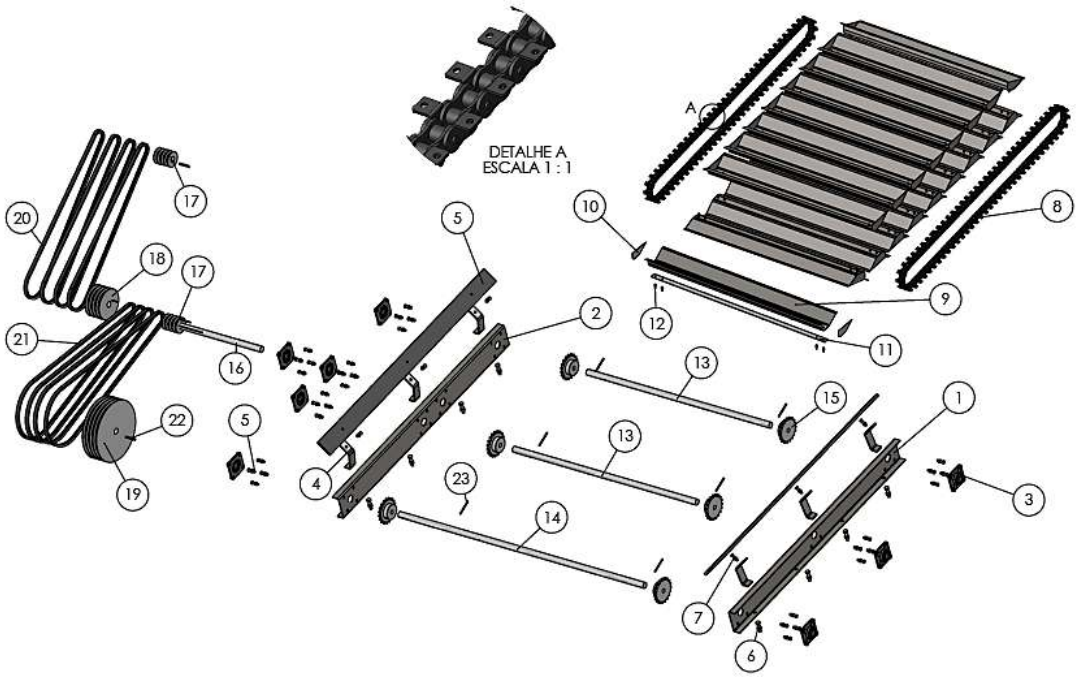



Figura 3 - Vista explodida do sistema de transporte de produto oriundo da colheita
Fonte: Autores, 2019

Tabela 1 - Combinações dos princípios de solução

| N° | Descrição | Qtd. |
|---|---|---|
| 1 | Perfil U Lado Direito 160X50X4,75 mm – L = 1800 mm | 01 |
| 2 | Perfil U Lado Esquerdo 160X50X4,75 mm – L = 1800 mm | 01 |
| 3 | Mancal Tipo Flange F208 | 08 |
| 4 | Perfil Suporte Borracha Lateral 260X50X8 mm | 06 |
| 5 | Borracha Lateral 1800X110X15 mm | 02 |
| 6 | Parafuso e Porca M16 | 40 |
| 7 | Parafuso e Porca M12 | 06 |
| 8 | Corrente com aba adicional K-1 ASA 80 – Passo 25,40 mm | 02 |
| 9 | Perfil Dobrado p/ Caneca 1270X280X1,50 mm | 18 |
| 10 | Perfil Lateral Caneca 160X50X1,50 mm | 36 |
| 11 | Perfil p/ Reforço Caneca 1270X35X2 mm | 18 |
| 12 | Parafuso e Porca M6 | 72 |
| 13 | Barra Redonda p/ Eixo Menor do Sistema de Transporte – D = 38,10 mm e L = 1433 mm | 02 |
| 14 | Barra Redonda p/ Eixo Maior do Sistema de Transporte – D = 38,10 mm e L = 1920 mm | 01 |
| 15 | Roda Dentada | 06 |
| 16 | Barra Redonda p/ Eixo Estágio de Transmissão – D = 38,10 mm e L = 580 mm | 01 |
| 17 | Polia Motora / 4 Canais – D = 100 mm | 02 |
| 18 | Polia Movida Estágio 1 / 4 Canais – D = 200 mm | 01 |
| 19 | Polia Movida Estágio 2 / 4 Canais – D = 400 mm | 01 |
| 20 | Correia Estágio 1 / Hi-Power B-97 | 04 |
| 21 | Correia Estágio 2 / Hi Power B-112 | 04 |
| 22 | Chaveta Paralela 80X10X5 mm | 04 |
| 23 | Pino Elástico – D = 7 mm e L = 100 mm | 06 |

Fonte: Autores, 2019

Os perfis U (1 e 2) serão presos a colhedora por parafusos e porcas (6) e comportarão todos os demais componentes. Nestes perfis, antes da colocação dos mesmos na colhedora, serão soldados perfis de suporte (4) para dar sustentação as borrachas laterais (5), as quais serão presas a esses perfis por parafusos e porcas (7). Os mancais (3) servem de apoio para os eixos do sistema de transporte (13 e 14), e são fixos aos perfis U (1 e 2) por parafusos e porcas (6) e com função de impedir o deslocamento do eixo e absorver esforços longitudinais e transversais. Utiliza-se um eixo em cada extremidade e um centralizado, sendo um dos eixos de uma extremidade de maior comprimento (14), em que o mesmo vai para o exterior da máquina e é conectado a uma polia movida (19), que é ligada por quatro correias V (21) a outra polia motora (17) que está liga ao eixo para estágio de transmissão (16). Este eixo é sustentado por dois mancais, sendo um deles preso no Perfil U do lado esquerdo (2) e outro na colhedora. Neste mesmo eixo (16) está ligada uma outra polia movida (18), a qual, por quatro correias V (20), recebe rotação da polia motora. Todas essas polias são de quatro canais e estão presas aos eixos por chavetas paralelas (22). Não estão representados, mas será necessário a colocação de tensionadores nas correias, para assim, gerar mais controle na movimentação dos eixos e ter correias com alta precisão no alinhamento e na tensão.

Nesta primeira etapa do projeto, o sistema de transmissão foi desenvolvido através de dois estágios de transmissão com quatro correias V, devido à alta redução de rotação necessária. Futuramente, com uma possível fabricação, pode-se gerar uma nova avaliação e resultar em uma redução de rotação através de uma caixa redutora.

Um ponto a se destacar é que, tanto um dos mancais que sustenta o eixo para o estágio de transmissão (16) como os tensionadores das correias, precisam ser fixados na colhedora. Devido a isso, na hora da instalação do sistema pode ser necessária a modificação (furação ou implantação de chapas soldadas) de algumas partes da colhedora, para que se possam fixar todos componentes necessários. A polia motora (17) também será implantada no eixo de rotação da máquina, mas como esta já possui um local para a implantação, não é necessária a execução de nem uma alteração em componentes mecânicos.

As rodas dentadas (15) estão presas aos eixos por pinos elásticos (23) e ao terem movimento de rotação, movimentam as correntes (8) e consequentemente o sistema de transporte. Este sistema de transporte é formado basicamente por dezoito canecas de aço estrutural A36 e duas correntes (8). Estas canecas são formadas por perfis dobrados (9), perfis laterais (10) e perfil para reforço (11), os quais são soldados uns aos outros. Outro ponto a se enfatizar é que as canecas possuem largura de 1270 mm, pois segundo o manual do operador Massey Ferguson (2013), está é a largura do cilindro da trilha da colhedora MF5650, e como o produto é despejado do cilindro para o côncavo e do côncavo para o sistema de canecas, é aconselhável que estas tenham a mesma largura.

Porém devido a essa largura do côncavo e das canecas serem iguais, para evitar o possível problema de perda de produto nas laterais, inseriu-se borrachas laterais (5) com inclinação de quarenta e cinco graus, assim haverá uma largura de recolhimento do produto de 1410 mm. Deste modo, estas borrachas têm objetivo de evitar que o produto derivado da colheita seja despejado pelo sistema de trilha e não caia sobre as canecas.

### 2.2 MF 5650 Colhedora ADVANCED

O sistema de transporte do produto oriundo da colheita até as peneiras foi desenvolvido para a colhedora MF 5650 ADVANCED (pode ser vista na Figura 1). Esta máquina é um modelo convencional muito utilizado tanto em pequenas como em grandes propriedades, e faz parte do grupo AGCO, de bandeira norte-americana. Por consequência disso, poderá gerar maior demanda de mercado para o presente sistema a ser desenvolvido.

Esta máquina segue a Norma SAE J (1995). Possui uma potência máxima de 175 CV (2400 rpm), torque máximo de 610 N.m (1500 rpm) e variação de velocidade de 1,0 a 18,5 km/h. O tanque graneleiro desta colhedora possui capacidade de 5000 litros, com uma vazão de descarga de grãos de 43 litros por segundo.

A máquina desloca-se através de pneus, onde possui tração 4x4 opcional. Seu peso geral aproximado, sem plataforma de corte, é de 8060 kg, e possui dimensões gerais de: comprimento de 8500 mm, com plataforma de corte; altura de 4000 mm; largura máxima de 3320 mm, sem plataforma de corte; bitola dianteira de 2770 mm; bitola traseira de 1580 mm; bitola opcional de 2750 mm (MASSEY FERGUSON, 2013).

### 2.3 Dimensionamento mecânico

Segundo Melconian (2012), para uma transmissão por correntes de rolos com relação de transmissão igual a 1 (todas as rodas dentadas com mesmo número de dentes e passo), conforme o caso do presente sistema, é aconselhável utilizar uma roda dentada com 31 dentes. Caso não seja possível, estabelecem-se limites, onde o número de dentes mínimo é de 9, pois a utilização de roda dentadas com número reduzido de dentes diminui a vida da corrente e aumenta sensivelmente o ruído, e o número máximo de dentes é 120. Para o sistema a ser desenvolvido, selecionou-se rodas dentadas ASA 80 com 19 dentes. A escolha se deu devido à busca por um diâmetro mais adequado para o giro das canecas, evitando a aquisição de uma roda dentada muito grande, mas também buscando o maior número de dentes possíveis Deste modo, para o sistema de transporte por canecas escolheu-se correntes K-1 ASA 80, que possui passo de 25,40 mm (1 polegada), com abas adicionais para a fixação da caneca através de parafusos e porcas. Estas correntes foram escolhidas através de catálogos Usicorp (212).

Assim: seguiu-se a metodologia de dimensionamento e utilizou-se 18 canecas, com uma massa de 5,08 kg cada uma, o que resulta em uma massa total de canecas de 91,40 kg. Em relação ao carregamento do produto, com auxílio do *software* utilizado na realização do projeto, verificou-se que cada caneca pode transportar um volume máximo de 0,0165 m³. Elas estarão transportando todo o produto oriundo da colheita, porém para vias de cálculo, por não possuirmos dados exatos da porcentagem e da massa específica dos diversos elementos que constituem o produto (grão, resíduos de palha, gravetos, poeira, grãos não trilhados, etc.), considerou-se apenas o transporte de grãos. Isso não acarretará variações significativas nos resultados, pois os grãos apresentam massa específica maior que os demais elementos, o que pode acabar resultando em valores com coeficiente de segurança para os componentes do sistema de transporte. Desta forma, dá-se por encerado a parte do dimensionamento mecânico, onde avaliaram-se os pontos que se constou que poderia haver maior risco de falha ou que era tido o dimensionamento como necessários para a seleção dos componentes.

### 2.4 Orçamento de custos

Um orçamento de custos é de extrema importância em um projeto, pois sempre se busca a fabricação de produtos que sejam competitivos no mercado, e isso depende muito do seu preço final. Outro fator é que já no planejamento e esclarecimento da tarefa estipula-se um valor para o máximo preço e se trabalha no desenvolvimento com a ideia de não ultrapassar esse valor.

No presente projeto, se fixou uma exigência de preço, onde não se ultrapassaria o valor de R$ 5.000,00 em matéria prima, e ao final da fase de projeto foi possível, de uma maneira mais exata, realizar a avaliação do orçamento e chegar ao valor aproximado de R$ R$3.759,66. No entanto deve-se ressaltar que o custo encontrado não abrange a mão de obra para a soldagem dos componentes e montagem das estruturas, nem como custos de pintura. Outro ponto a enfatizar é que os custos são aproximados, podendo haver variações para mais ou para menos.

Essa estimativa é importante para demonstrar que o projeto resultou em um mecanismo que abrangeu todos os requisitos estipulados, permanecendo dentro da margem de custo pré-definida no início do projeto (R$ 5.000,00). Assim sendo, o projeto apresentou uma boa relação custo-benefício, com mecanismo compacto e funcional, de fácil construção e manutenção.

Para o custo final, necessita-se ser acrescentado o lucro e outros custos referentes a mão de obra. Por não se haver valores exatos, estipulou-se o custo final como sendo três vezes maior do custo de matéria prima. Desta forma, o custo final do sistema de transporte por canecas será de aproximadamente R$11.280,00.

Para exemplificar que este valor não é elevado, propõe-se um exemplo em relação à colheita de soja: Segundo Brabosa e Schmitz (2015), em uma área com produtividade de 59,46 sacos por hectare (sc/ha), analisada no Rio Grande do Sul, ocorre um desperdício total médio de 1,21 sc/ha no sistema de trilha, separação e limpeza. Assim, se este transportador de canecas diminuísse apenas 50% das perdas nos sistemas descritos, se aumentaria a produção nas áreas colhidas em aproximadamente 0,60 sc/ha. Com um valor médio de mercado de soja de R$ 80,00 por saca, o agricultor aumentaria seu lucro final em R$ 48,00 por hectare com a substituição do bandejão da colhedora por este sistema de transporte por canecas. Deste modo, o valor de R$11.280,00 pode ser compensado com a colheita de 235 hectares de soja, o que é considerado com uma quantidade de área não elevada se levada em consideração a enorme vantagem que esta pequena alteração na colhedora trará ao proprietário.

O único sistema similar encontrado no mercado utiliza um sistema por esteira de transporte, a qual se trata da patente WO2016/070256 AL. Em primeiro momento, desejava-se a construção do mecanismo através de esteira de borracha aletada, e devido a isso também foi avaliado o custo deste modelo, o qual pode-se observar que seria quase duas vezes maior do que o custo do sistema de transporte por canecas. Isto nos demostra outro ponto positivo do presente projeto, em que possibilitou-se o desenvolvimento de um novo modelo de mecanismo, apto a uma possível patente, e que possui custo de fabricação bem inferior aos seus concorrentes de mercado.

## 3. CONCLUSÃO

A análise funcional do sistema de transporte do produto oriundo da colheita em peneiras de colhedoras MF5650 buscou atende o objetivo de otimização do sistema de trilha e limpeza de grãos no interior da máquina. Este mecanismo poderá gerar maior eficiência no transporte, alimentação constante das peneiras e diminuição das perdas da colheita em terrenos inclinados.

O embasamento teórico obtido através da revisão bibliográfica nos possibilitou entender por completo a definição de colhedora e o funcionamento que está máquina possui. Com esse estudo teve-se uma ideia da necessidade desse tipo de mecanismo para o trabalho no campo e as vantagens que o mesmo pode vir a fornecer ao agricultor. O mesmo é colocado em substituição ao bandejão, onde não há nem um risco para a máquina que tem os seus demais sistemas inalterados, e como este sistema é implantado na parte integridade da colhedora também não fornece nem um risco a integridade física das pessoas. Também se observou que o sistema é uma boa solução para o problema das perdas, o qual é um dos maiores empecilhos enfrentados na hora da execução da colheita, o que acarreta na diminuição dos lucros finais dos agricultores.

Com o estudo do funcionamento da colhedora, demostrou-se os cincos sistemas da máquina (sistemas de corte e alimentação, trilha, separação, limpeza, transporte e armazenagem), os quais constituem o processo desde o recolhimento da planta até a descarga do grão limpo. Desta forma, obtivemos uma boa fundamentação teórica para a avaliação das modificações necessárias para a instalação do sistema de transporte de produto proposto e do comportamento que o mesmo terá quando posto em funcionamento.

Após o embasamento teórico devidamente formado, pode-se partir para a formulação da parte técnica do projeto, em que os requisitos e as especificações necessárias foram formulados. A lista de requisitos nos possibilitou avaliar as exigências que haviam no projeto, e assim, se teve início à escolha dos componentes considerados como os melhores para o bom funcionamento do mecanismo. Isso acabou por resultar na variante final que descreveu a concepção do equipamento e seguiu para a próxima fase.

Com o anteprojeto, foi possível iniciar a demonstração dos componentes necessários para a composição do mecanismo estudado, os quais tiveram demonstração através do *software SolidWorks*. Realizou-se várias modificações até que se chegasse a uma solução plausível. Um detalhamento preliminar foi realizado para dar uma ideia de espaço físico que o sistema de transporte por canecas irá ocupar.

O dimensionamento mecânico possibilitou-nos avaliar a resistência de alguns componentes e realizar a seleção de elementos mecânicos do transportador de canecas. A conclusão em relação à resistência é que, com a análise desenvolvida através deste dimensionamento, pode-se afirmar que não ocorrerá falha e ruptura na estrutura quando for submetido às tarefas que exerçam as piores condições de trabalho. Isto demostra que o conceito montado possui a segurança e a resistência desejada, e para as etapas futuras de validação do projeto, testes práticos avaliaram o comportamento do sistema perante a colhedora, verificando desempenho e confiabilidade.

Em relação ao custo, em todas as etapas do presente projeto buscou-se um valor o menos elevado possível. Ao final da etapa de anteprojeto esse custo foi estimado de maneira mais exata, avaliando-se que o custo de matéria prima de R$3.759,66 não excedeu a estimativa de R$ 5.000,00 que era tida como exigência, concluindo-se que o projeto foi satisfatório nesse requisito. Já o custo total de R$11.280,00 pode parecer relativamente elevado para alguns proprietários de colhedoras no momento da aquisição e instalação do sistema, no entanto se formos considerar o custo benefício a curto médio prazo, esse valor pode ser consideravelmente baixo, conforme já discutido e exemplificado. Deste modo, conclui-se que o valor do mecanismo em questão é relativamente baixo se comparado com todas as vantagens que o mesmo pode vir a proporcionar, e o torna um produto competitivo dentro do mercado, se desejado sua comercialização.

O cumprimento dos objetivos específicos propostos inicialmente era tido como exigência e tiveram o atendimento desejado dentro do prazo estimado. Com os estudos feitos e com o desenvolvimento da metodologia, foi apresentada uma prévia de como o mecanismo se constituirá e funcionará, assim, pode-se chegar à conclusão do objetivo geral. Ressalta-se que o desenvolvimento do sistema foi para uma máquina em específico, mas isto não impede que o mesmo seja instalado em outros modelos ou marcas de colhedoras. O que pode necessitar são alterações no projeto em relação a dimensões e forma de acionamento, mas o princípio desenvolvido mante-se inalterado.

Conclui-se de forma geral que o sistema desenvolvido atende a todas as exigências estabelecidas. Se implantado no mercado, agricultores terão a possibilidade de avaliar se o sistema lhes trará melhorias e sua necessidade perante o sistema. Pode-se dizer que é de suma importância à implementação desse mecanismo no mercado, já que se prioriza cada vez mais lavouras com alta lucratividade e uma produção rentável, e o mesmo é considerado como uma boa alternativa para o problema de perdas. No entanto, com os devidos resultados apresentados, cabe à empresa avaliar se a implantação do sistema é cabível ou não.

## 4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Faculdade CESURG de Marau pelo incentive e apoio a pesquisa.

## 5. REFERÊNCIAS

BERGOLI, Berdarno Delfino; DIVENSI, Ademar. **Sistema de Nivelamento de Sementes em Peneiras de Colheitadeiras**. MARCA BRAZIL MARCAS. Brasil. Patentes Ltda. BR nº WO 2016/070256 A1, 05 nov. 2015, 12 maio 2016. Disponível em: < https://patents.google .com/patent/WO2016070256A1/pt?oq=WO+2016%2f070256+Al >. Acesso em: 10 set. 2018.

BRABOSA, Erlei Jose Alessio; SCHMITZ, Ricardo. **Avaliação de perdas na colheita da cultura da soja da região noroeste do Rio Grande do Sul.** Santa Catarina: Faculdade de Itapiringa, 2015. Disponível em: <http://faifaculdades.edu.br/eventos/AGROTEC /1AGROTEC/arquivos/resumos/res7.pdf>. Acesso em: 01 set. 2018.

MASSEY FERGUSON. Produtos AGCO. Brasil, 2018. Disponível em: < http://www.masseyferguson.com.br/produtos/colheitadeiras>. Acesso em: 20 ago. 2018.

MASSEY FERGUSON. Rio Grande do Sul. Publicado por AGCO do Brasil. **Manual do** Operador MF5650: Colheitadeira Advanced. Canoas, 2013. Código de Publicação: 6282125M1.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas:** Engrenagens, Correias, Rolamentos, Chavetas, Molas, Cabos de aço, Árvores. 10. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2012.

NUNES, José Luis da Silva. **Tecnologia de sementes - Colheita.** Agrolink, Porto Alegre, 12 set. 2016. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br /sementes/tecnologia-sementes/colheita_361342.html>. Acesso em: 15 out. 2018.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia:** Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos - Métodos e aplicações. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

SILVEIRA, Gastão Moraes da. **As Máquinas para Colheita e Transporte.** Pelotas: Editora Globo, 1991.

SILVEIRA, José Miguel; CONTE, Osmar. **Determinação de perdas na colheita de soja: copo medidor da Embrapa.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Embrapa Soja. Londrina, nov. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/979883/determinacao-de-perdas-na-colheita-de-soja-copo-medidor-da-embrapa>. Acesso em: 02 set. 2018.

USICORP. **Engrenagem ASA e Corrente com Aba Adicionais.** São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.usicorp.com.br/Usicorp/index.php>. Acesso em: 15 nov. 2018.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Mecânica:

# Engenharia e Tecnologia de Materiais

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DE FALHAS DE UM AÇO ABNT 1060 UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE LÂMINAS DE CORTE DE COLHEDORAS

**Alen Junior Tibola**
**Amauri Gomes de Moraes**
**Márcio Walber**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
alen.jrtib@gmail.com; amauri@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo:*** *A quebra de um componente de um equipamento sempre é um fato indesejável durante a sua operação. Tendo em vista isto, este trabalho teve como objetivo principal analisar a falha causadora da fratura de lâminas presentes no sistema de corte de colhedoras de grãos e colhedoras de forragem. Estas peças atuam em contato intermitente com outros materiais e inevitavelmente estarão sujeitas ao desgaste e ao impacto. Necessita-se para o emprego nesta função, um material com alta dureza e que com tenacidade suficiente para receber os impactos durante o corte das plantas. Este estudo é baseado na análise da composição química do material usado na fabricação das laminas de corte, caracterização mecânica por meio de ensaios de dureza e impacto, e microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura, para medição de tamanho de grão e analise fractográfica e tratamento térmico de revenimento para fim comparativo. A partir de medições Vickers em três lâminas, percebeu-se uma dureza média do material próxima a 750 HV ao se aproximar da borda cortante da ferramenta, o que indica têmpera localizada. Conclui-se que este fator é o principal causador da fratura frágil da lâmina de corte. Tamanho de grão ASTM encontrado no centro da ferramenta é extremamente fino, 10, o que agrega tenacidade adequada à ferramenta. O revenimento realizado a 370ºC não surtiu efeito na tenacidade do material, revelando ser necessário uma maior temperatura.*

***Palavras chave****: Lâmina de corte; Fratura frágil; Ensaio de impacto; Tamanho de grão; Tratamento térmico de revenimento.*

## 1. INTRODUÇÃO

A quebra de um componente de uma máquina é, de certa forma, algo previsto durante o projeto e é sabido que algum momento poderá ocorrer. No entanto, não é algo que se deseja, e trabalha-se para evitar situações que venham ocasionar perdas de desempenho, eficiência e aumentem o tempo necessário para se realizar uma atividade.

Ao se tratar da mecanização agrícola, tempo é um fator com grande relevância. Com as janelas de plantio e colheita mais curtas, se necessita de equipamentos maiores e que ofereçam mínima e rápida manutenção.

A colheita pode ser considerada o processo de maior importância para a agricultura, tendo em vista que é momento que se obterá os resultados de todo o ciclo da produção. Vários fatores durante este período influenciam na produção, desde fenômenos incontroláveis como o clima até a eficiência do maquinário usado na colheita.

O bom cultivo, feito com condições climáticas favoráveis, leva a bons resultados. No entanto, por vários motivos, tais como a utilização de equipamentos inadequados, operados incorretamente e com manutenção precária, resultam em perdas e desperdício (COMETTI, 2012). De acordo com Guimarães (2011), cerca de 1% da produção é desperdiçada inicialmente na colheita, sendo a plataforma de corte o principal causador deste problema.

No mercado atual, colhedoras de última geração são equipadas com sensores que trazem todas as informações necessárias ao operador, como a umidade do grão e o desperdício da máquina. No entanto, equipamentos assim tem um custo bastante elevado, e por este motivo a maior parte da frota é antiga.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A sequência de procedimentos utilizada neste trabalho está resumida na Figura 1.

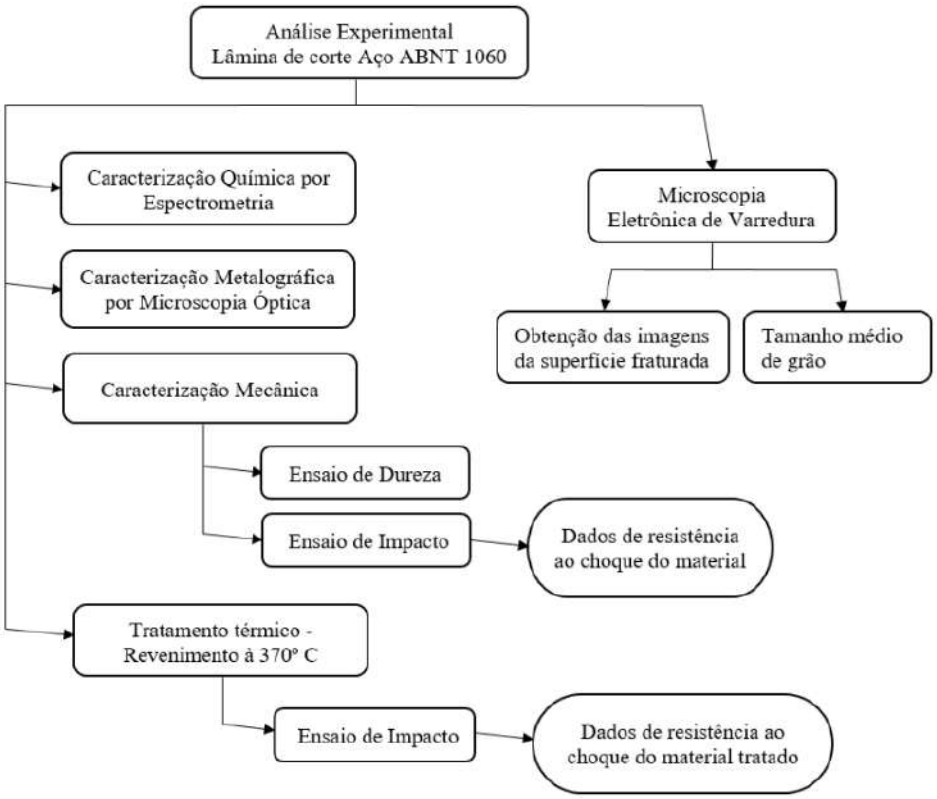



Figura 1. Resumo dos procedimentos realizados no trabalho

### 2.1 Material: Lâminas de Aço ABNT 1060

Utilizou-se para realização do presente trabalho seis lâminas de corte iguais à mostrada na
Figura **2**. As lâminas têm 2,5 mm de espessura, cerca de 75 mm de largura e altura e são fabricadas em aço carbono ABNT 1060. O fabricante informa que o material tem tratamento térmico de tempera por indução.



Figura 2. Lâmina de corte (Fonte: Venturoso, Valentini & Cia Ltda., 2018)

### 2.2 Procedimento experimental

Os procedimentos que seguem neste capítulo utilizam de instrumentação experimental para análise dos dados coletados em ensaios mecânicos, ensaio metalográfico e químico. O método de pesquisa é quantitativo apoiando-se em técnicas de análise de dados também quantitativas, como correlações e representações gráficas e medidas de dispersão. Os dados analisados desta forma serão obtidos através dos ensaios de impacto, dureza e caracterização química.

#### 2.2.1 Caracterização química por espectrometria de emissão óptica

Na análise da composição química do material é utilizado um espectrômetro Foundry-Master Xline fabricado pela Oxford Instruments, que tem seu funcionamento baseado na espectrometria por emissão ótica. O equipamento pode ser visualizado na Figura 3. O gás utilizado pelo equipamento durante a análise foi argônio.

Primeiramente, é feito o lixamento da lâmina de corte para a remoção da tinta utilizando uma lixa d`água de granulação 80. Realizam-se quatro espectrometrias no material em locais distintos, sendo o primeiro deles descartado à fim de evitar possíveis imprecisões do equipamento. São consideradas apenas as três análises seguintes. Por fim, a média da medição do teor de cada elemento presente do material é fornecida pelo software que acompanha o equipamento.

Após a obtenção dos resultados é feita consulta à norma NBR NM 87 para comprovação da composição do material e a nomenclatura usada para o mesmo.




Figura 3. Espectrômetro Oxford Foundry-Master Xline

### 2.2.2 Metalografia

Para a realização do ensaio metalográfico utiliza-se a mesma lâmina usada na análise da composição química, tendo em vista que a espectrometria não interfere nos resultados obtidos na metalografia.

São retirados da lâmina de corte dois fragmentos de partes diferentes da peça utilizando uma serra. O equipamento dispõe de refrigeração com fluído abundante para não alterar a microestrutura do material.

Como é demonstrado na Figura 4, o fragmento F1 é removido da área de corte da ferramenta, enquanto o fragmento F2 é removido de um local distante da área de corte, visando uma parte da peça que não tenha sofrido tratamento térmico.

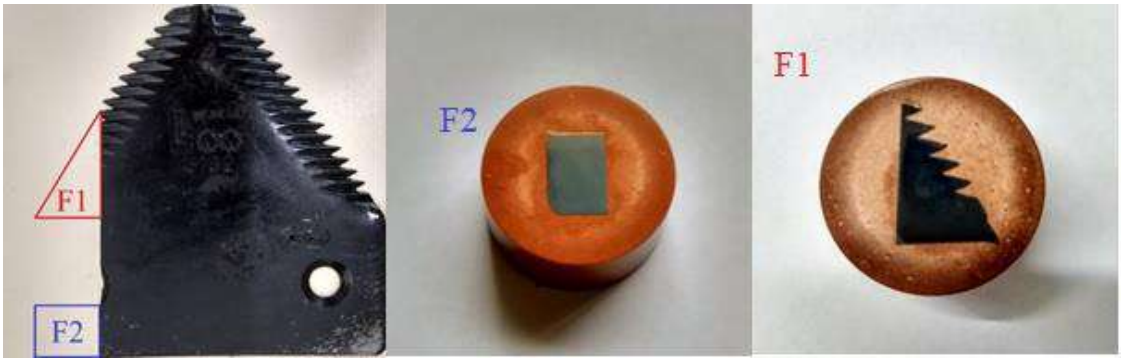



Figura 4. Fragmentos F1 e F2 retirados da lâmina de corte para análise

Na sequência, realiza-se o embutimento dos fragmentos em baquelite. Utiliza-se uma pressão de 200 bar durante um tempo de 8 minutos, aproximadamente.

O processo de lixamento das amostras é feito manualmente, girando a amostra 90º a cada troca de lixa. Foram usadas lixas com granulometria 220, 400, 600 e 1200, respectivamente. Em seguida as amostras foram polidas utilizando uma politriz e alumina como fluído.

Realizou-se o ataque químico das amostras utilizando como ácido Nital 2% durante um período de 5 segundos.

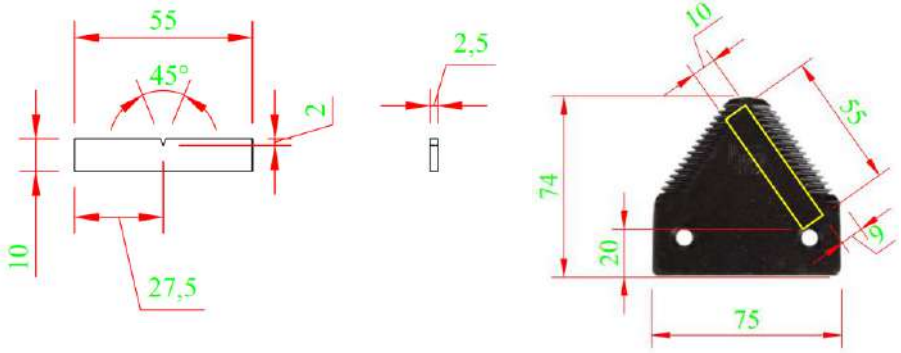
A análise microscópica é feita por meio de um microscópico ótico Zeiss Axio Scope A1, realizando-se análises macro e microscópicas com aumento de 100x e 500x.

### 2.2.3 Preparo dos corpos de prova para ensaio de impacto Charpy

Retirou-se de 6 lâminas de corte os corpos de prova através de corte com jato d'água. Posteriormente foram realizados os entalhes em "V" nos corpos de prova, por meio de processo de eletroerosão.

A norma NBR ISO 148-1:2013 define que a espessura dos corpos de prova padrão deve ser de 10 mm, no entanto se não for possível, pode-se usar corpos de prova com 7,5 mm ou 2,5mm. Neste trabalho são utilizados para os ensaios corpos de prova com 2,5 mm de espessura, devido ser esta a espessura das lâminas de corte.

As dimensões do fragmento da lâmina que será utilizado como corpo de prova são mostradas na Figura 5 (a).




(a) (b)

Figura 5. (a) Dimensão dos corpos de prova para ensaio de impacto Charpy, em mm e (b) Posição de retirada dos corpos de prova para ensaio Charpy, em mm

Os corpos de prova foram extraídos da área próxima aos dentes de lamina de corte, mostrado em amarelo na Figura 5(b).

Seguidamente ao preparo dos seis corpos de prova, removendo os mesmos das lâminas por corte a jato d'água e utilizando eletroerosão para confecção do entalhe, realizou-se o revenimento de três corpos de prova.

### 2.2.4 Revenimento de 3 corpos de prova à 370º C

O problema apresentado pelas lâminas de corte é a fratura frágil. Isso leva a crer que o material está com uma tenacidade baixa, absorvendo pouca energia dos impactos sofridos durante o trabalho.

Sabendo que o material passa por tratamento térmico de têmpera, optou-se pela realização de revenimento em 3 dos 6 corpos de prova. Desta forma, após obtenção dos resultados do ensaio de impacto, pode-se realizar uma comparação entre a energia média absorvida pelos corpos de prova revenidos e pelos não revenidos.

Tomou-se cuidado para evitar a faixa de temperatura que provoca a fragilidade do revenido, possível de ocorrer entre 375º C e 575º C. Tendo em vista isso, optou-se pela realização do tratamento térmico à temperatura de 370º, buscando-se evitar esse efeito negativo.

Os corpos de prova foram colocados no forno à temperatura de 370º C e mantidos por 6 minutos. Em seguida, o forno foi desligado e o material permaneceu sob resfriamento durante 4 horas, até atingirem a temperatura de 100º C, quando foram retirados.

Espera-se que com o revenimento os corpos prova tratados termicamente apresentem um comportamento diferente aos corpos de prova não tratados, quando submetidos ao ensaio de impacto. A hipótese para as falhas regulares destas ferramentas seja tensão residual de tratamento térmico de têmpera. O revenimento faria com que a absorção de energia nos corpos de prova tratados seja maior do que nos não tratados.

### 2.2.5 Ensaio de impacto

A energia de impacto absorvida pela lâmina de corte foi medida por meio do método Charpy, seguindo as recomendações da Norma NBR ISO 148-1 (2013). O ensaio foi realizado à temperatura ambiente (22º C). Na Figura 6(a) são mostrados os corpos de prova e na Figura 6 (b) o equipamento usado para os ensaios.



(a)



(b)

Figura 6. (a) Corpos de prova e (b) equipamento usado para os ensaios

Para a realização dos ensaios tem-se, portanto, três corpos de prova revenidos, e três corpos de prova na condição em que foram adquiridos no comércio. Devido a algum fator incontrolável do equipamento, os testes serão aleatorizados conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Aleatorização dos corpos de prova para ensaio Charpy

| **ORDEM DO EXPERIMENTO** | | |
|---|---|---|
| **Experimento** | **Material** | **Ordem de execução** |
| 1 | Revenido | 5º |
| 2 | Revenido | 4º |
| 3 | Revenido | 1º |
| 4 | Não Revenido | 2º |
| 5 | Não Revenido | 6º |
| 6 | Não Revenido | 3º |

Após realizados os ensaios, os dados foram coletados e avaliados a média e desvio padrão para as amostras revenidas e não revenidas.

### 2.2.6 Medição da dureza ao longo da lâmina de corte

Partindo-se da hipótese de que o objeto em estudo possua diferentes durezas ao longo de seu corpo, ou seja, que na região dos dentes exista uma dureza superior ao centro da peça, fez-se medições em três lâminas escolhidas aleatoriamente.

Fazendo uso de um paquímetro e uma vareta metálica, realizou-se a marcação de nove linhas na superfície de cada lâmina, em um intervalo de 3 mm entre uma linha e outra. Deixou-se 8 mm de distância da borda cortante ao marcar a primeira endentação devido a inclinação da ferramenta nesta região, o que dificultaria a medição. As marcações foram feitas no sentido da extremidade para o centro, como mostra em amarelo a Figura 7. Designou-se um número para cada endentação, sendo 1 a mais próxima à extremidade e 9 a mais próxima ao centro da peça.

As linhas riscadas sobre a superfície das lâminas de corte servem como orientação ao operador do durômetro, sendo possível por meio delas definir uma distância aproximada entre uma endentação e outra. É importante esclarecer que a movimentação na lâmina do durômetro é feita manualmente, ou seja, não é certo afirmar que cada medição é feita a uma distância exata de 3 mm devido a imprecisão do operador.

Após a obtenção da dureza resultante das nove endentações em uma lâmina, repetiu-se o procedimento em outras duas. A partir dos valores obtidos fez-se a média das durezas em cada ponto, desvio padrão e gráfico da dureza da ferramenta ao decorrer da extremidade ao centro.

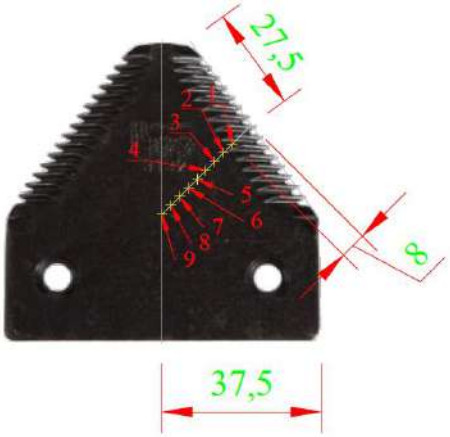



Figura 7. Pontos onde realizou-se medição da dureza da lâmina de corte

### 2.2.7 Preparo das amostras para medição de tamanho de grão

Para a medição da granulometria utilizou-se um fragmento da lâmina de corte igual ao mostrado na Figura 8. Na sequência, realizou-se o embutimento desse fragmento em baquelite. Utilizou-se uma pressão de 200 bar durante um tempo de 8 minutos, aproximadamente.

O processo de lixamento das amostras foi feito manualmente, girando a amostra 90º a cada troca de lixa. Foram usadas lixas com granulometria 220, 400, 600 e 1200, respectivamente. Em seguida as amostras foram polidas utilizando uma politriz e alumina como fluído.

Posteriormente a amostra foi analisada em laboratório. O tamanho médio de grão foi medido em microscópio eletrônico de varredura, seguindo o método planimétrico de medição, conforme a norma ASTM E112 descreve.



Figura 8. Fragmento usado para medição do tamanho médio de grão

### 2.2.8 Fractografia

Por meio de uma lâmina quebrada, como a da Figura 9, realizou-se a observação da superfície da ruptura utilizando um microscópio eletrônico de varredura. Através da fractografia eletrônica se poderá descrever a topografia superficial da fratura, com objetivo de avaliar os mecanismos causadores da fratura ocorrida.



Figura 9. Lâmina de corte fraturada

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos durante todo o período de desenvolvimento do projeto, tais como caracterização da composição química do material, ensaios mecânicos e análises microscópicas.

### 3.1 Análise da composição química do material

Por meio da análise da composição química por espectrometria da lâmina de corte foi encontrado um material composto por 0,59% de Carbono. Outros teores de elementos residuais presentes na composição, como fósforo, manganês e enxofre estão dentro do estabelecido pela norma ABNT NBR 87 para um aço-carbono ABNT 1060.

Tabela 2. Teor médio, em percentual, de cada elemento químico presente no material da lâmina de corte

| **Elemento** | **Fe** | **C** | **Si** | **Mn** | **P** | **S** | **Cr** | **Al** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Média** | 98,2 | 0,59 | 0,21 | 0,69 | 0,014 | 0,005 | 0,204 | 0,035 |

### 3.2 Metalografia

Na Figura 10, pode-se observar a macrografia feita no fragmento F1 (Figura 4) com ampliação de 100x. Esta região apresentou dureza média muito elevada, 748 HV. Na imagem apresentada não se identifica agulhas características de microestrutura martensítica.

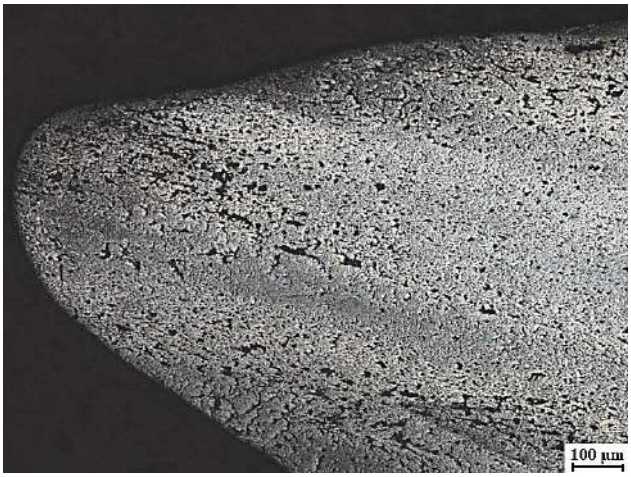
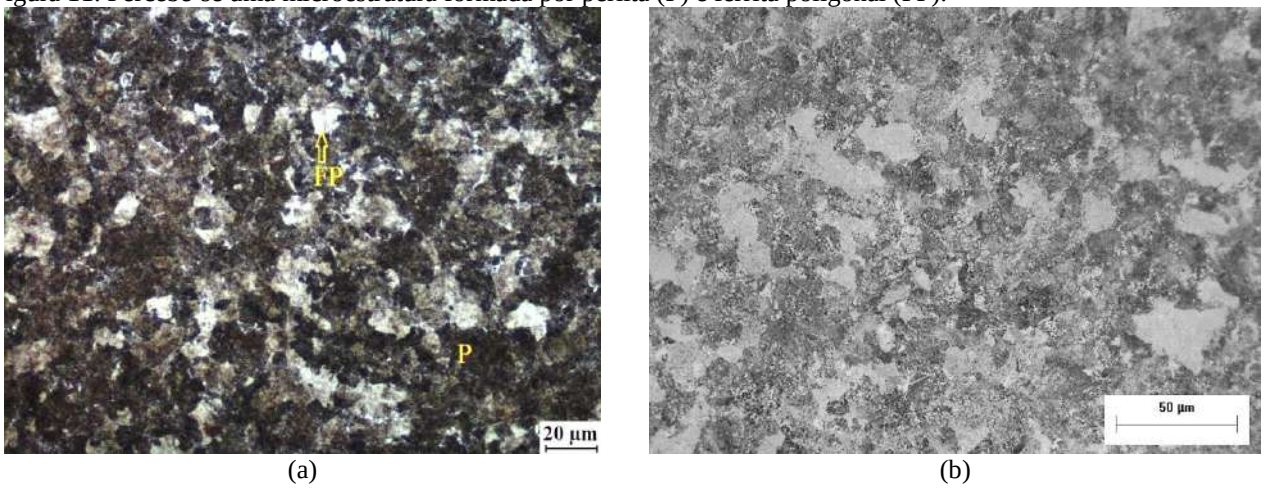



Figura 10. Macrografia realizada na ponta de um dente, ampliação 100x

No fragmento F2 (Figura 4) realizou-se uma micrografia com ampliação de 500x. O resultado está apresentado na Figura 11. Percebe-se uma microestrutura formada por perlita (P) e ferrita poligonal (FP).




(a) (b)

Figura 11. (a) Micrografia realizada no fragmento F2 com ampliação de 500x. FP (ferrita poligonal), P (perlita) e (b) Aço 1060, aquecido a 840ºC e resfriado ao ar (Fonte: Pauka, 2018)

Observa-se no trabalho realizado por Pauka (2018) uma microestrutura semelhante encontrada. O material da Figura 11(b) foi austenitizado à 840ºC e resfriado a temperatura ambiente (ao ar). A dureza encontrada por foi cerca de

325HV, muito próxima a dureza encontrada no centro da ferramenta, correspondente ao fragmento F2 (Figura 4), 280 HV.

### 3.3 Ensaio de impacto

A partir dos dados coletados do ensaio de impacto Charpy, obteve-se a média e o desvio padrão para os valores de energia de impacto absorvida pelos corpos de prova revenidos e pelos não revenidos, Tabela 3.

Tabela 3. Energia absorvida pelos corpos de prova no ensaio de impacto

| | Energia absorvida (J) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Material** | **Ensaio 1** | **Ensaio 2** | **Ensaio 3** | **Média** | **Desvio Padrão** |
| **Revenido à 370º C** | 4,2 | 4,5 | 4 | 4,23 | 0,25 |
| **Não revenido** | 4 | 5 | 4,2 | 4,4 | 0,42 |

Percebe-se que não houve alteração significativa na capacidade de absorção de energia de impacto quando comparados os dois materiais, como mostra a Figura 12. Isso indica que o revenimento não surtiu efeito na melhora da tenacidade do material. Esse efeito pode ter sido causado devido a temperatura de revenido de 370º C ser muito próxima a temperatura inicial de fragilidade do revenido, que é de 375ºC. Portanto, se desejar-se aumentar a tenacidade deste material, deve-se aquecer o material a uma temperatura de no máximo 350º C, ou acima de 575ºC.

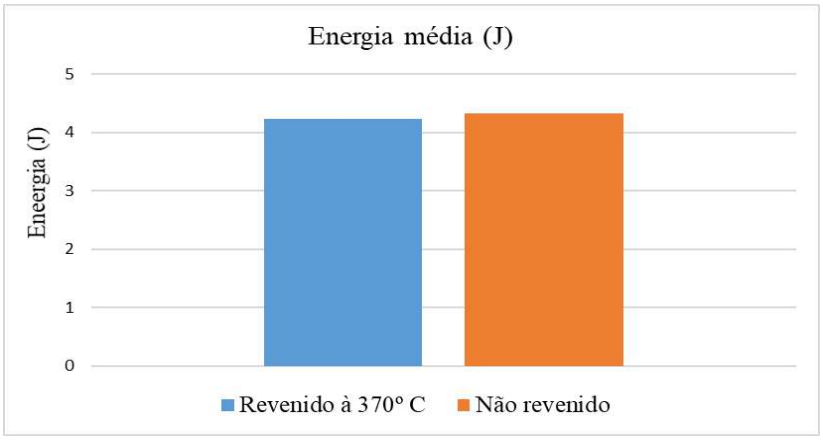



Figura 12. Energia média absorvida pelos corpos de prova revenidos e não revenidos

### 3.4 Ensaio de dureza

Realizando-se as medições de dureza em três lâminas de corte, obteve-se os resultados mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Média da dureza coletada em três lâminas diferentes

| | Dureza Vickers (HV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Endentação** | **Lâmina 1** | **Lâmina 2** | **Lâmina 3** | **Dureza média** | **Desvio padrão** |
| **1** | 746 | 759 | 732 | 746 | 10,9 |
| **2** | 628 | 677 | 606 | 637 | 29,9 |
| **3** | 271 | 271 | 261 | 268 | 4,7 |
| **4** | 274 | 264 | 257 | 265 | 7,0 |
| **5** | 283 | 279 | 268 | 277 | 6,3 |
| **6** | 278 | 277 | 262 | 272 | 7,2 |
| **7** | 271 | 285 | 260 | 272 | 10,2 |
| **8** | 258 | 278 | 264 | 267 | 8,5 |
| **9** | 250 | 269 | 275 | 265 | 11 |

A partir destes dados gerou-se o gráfico apresentando na Figura 13, onde a endentação 1 representa a dureza na extremidade da ferramenta e a endentação 9 representa a dureza no centro da mesma.

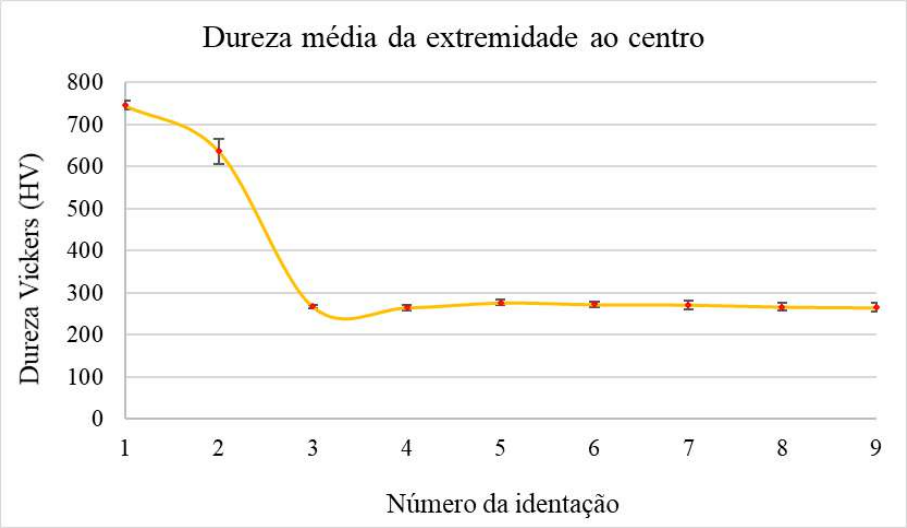



Figura 13. Dureza média do material ao longo da lâmina

A dureza na endentação 1 e 2 (borda de corte da ferramenta) tiveram as maiores medidas, 746 e 639 na média, respectivamente, a partir da 3ª endentação, em direção ao centro da ferramenta os valores de dureza diminuem se mantendo estáveis entre 260 e 280 HV. Esta diferença na dureza deve-se a têmpera realizada na borda da lâmina de corte com objetivo de aumentar a resistência ao desgaste da ferramenta na região cortante, por parte do fabricante.

No entanto, para a função exercida pela ferramenta, 746 HV é uma dureza bastante elevada, tendo em vista que os materiais que entram em contato com a lâmina de corte são caules de plantas, materiais relativamente macios. É necessário ter-se em mente que esta ferramenta precisa resistir também a impactos oriundos de elementos que podem se chocar abruptamente e ocasionar a fratura das lâminas, como pedras, por exemplo.

A vida útil da ferramenta pode ser aumentada diminuindo-se a dureza da mesma na região de corte, através de um revenimento. A diminuição da dureza irá reduzir a resistência ao desgaste, mas ao mesmo tempo o crescimento da tenacidade fará com que o material resista mais a choques, fator principal da fratura precoce das lâminas.

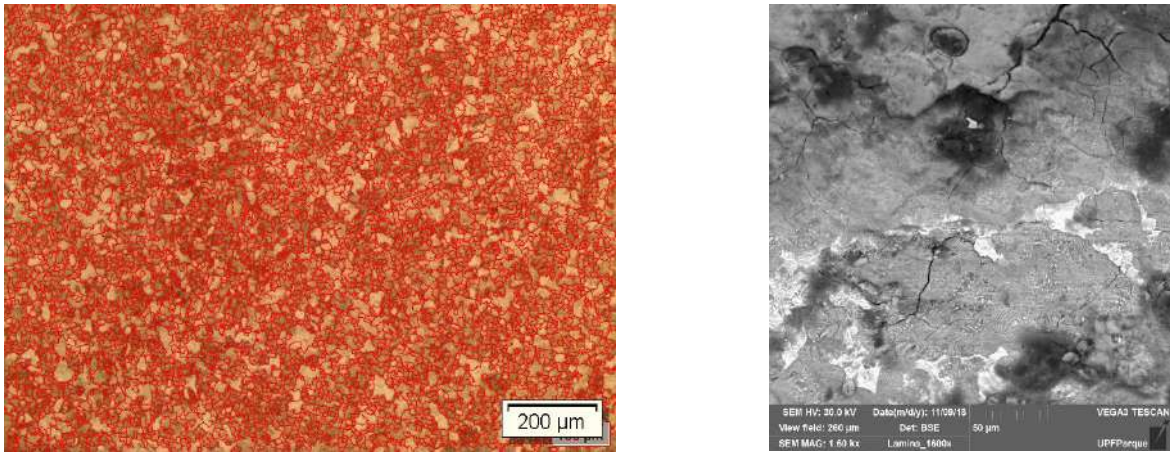
### 3.5 Medição de tamanho de grão e análise fractográfica – MEV

Mediu-se o tamanho médio de grão através de microscopia eletrônica de varredura, de acordo com o método planimétrico da norma ASTM E112. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Tamanho de grão médio, medido pelo método planimétrico

| | |
|---|---|
| Tamanho de grão ASTM | 10,12 |
| Área média de grão (μm²) | 115,92 |
| Número total de grãos | 10680 |
| Área total de grão (mm²) | 1,24 |
| Área analisada (mm²) | 1,37 |

Tamanho de grão extremamente fino na região avaliada possível de ser observado na Figura 14 (a), que condiz com o encontrado na bibliografia quando se deseja bons resultados no tratamento de têmpera, juntamente com a melhora da tenacidade. Entretanto, a alta dureza resultante da tempera combinado com a dureza e os níveis de tensões residuais gerados produziram uma fratura frágil conforme a imagem fractográfica apresentada na Figura 14 (b).




(a) (b)

Figura 14. (a) Contornos de grãos destacados em vermelho e (b) Imagem fractográfica da superfície de uma lâmina fraturada, ampliada 1600x

## 4. CONCLUSÕES

Neste capítulo são discutidos os objetivos que foram propostos para o projeto e seu atendimento ou não, logo o que foi alcançado com os resultados obtidos.

- Através do processo de espectrometria de emissão óptica determinou-se a composição química do aço usado na fabricação das laminas de corte, um aço ABNT 1060.
- Por meio do método planimétrico utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura determinou-se granulometria do material. Tamanho de grão ASTM 10, fino e que proporciona boa tenacidade.
- Realizou-se os ensaios mecânicos de impacto e dureza para determinação das propriedades. A dureza do material foi definida com muito elevada na superfície cortante da ferramenta, chegando a 746 HV médios.
- A microscopia óptica foi realizada, obtendo-se a microestrutura do material. Constatou-se uma microestrutura composta por perlita e ferrita poligonal no centro da ferramenta, com dureza de 280 HV, considerada de boa tenacidade.
- Adquiriu-se a imagem fractográfica de uma lamina de corte rompida durante operação, apesar de o resultado não ter sido satisfatório devido ao óxido depositado na superfície da lamina não poder ser removido.
- Através dos ensaios pode-se apontar um causador principal para a fratura das lâminas de corte como a dureza elevada na extremidade de corte da ferramenta. A mesma chega a 746 HV, o que deixa a ferramenta pouco tenaz e propicia a fratura frágil.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 148-1:2013: Materiais metálicos - Ensaio de impacto por pêndulo Charpy Parte 1: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 30 Outubro 2013. 26.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 87: Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição, Rio de Janeiro, 2000.

ASTM. E112: Standart Test Methods For Determining Average Grain Size, West Conshohoken, 2013.

COMETTI, N. N. Mecanização Agrícola. Curitiba: LT, 2012.

GUIMARÃES FILHO, C. Agronegócio. Gazeta do Povo, 2011. Disponivel em: <https://goo.gl/n1mYgD>. Acesso em: 2 Abril 2018.

PAUKA, A. R. P. et al. Análise do aço 1060 temperado e normalizado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2018. Disponivel em: <https://bit.ly/2Q6DoRj>. Acesso em: Novembro 2018.

VENTUROSO, VALENTINI & CIA LTDA. Produtos. Site da Venturoso Valentini, 2018. Disponivel em: <http://vv.com.br>. Acesso em: 05 Junho 2018.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CARACTERIZAÇÃO DE FASES PRECIPITADAS NO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S 31803 ENVELHECIDO A 750 °C

**Andersom Erthal Kerner**
**Márcio Walber**
**William Haupt**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
148029@upf.br; mwalber@upf.br; williamhaupt@upf.br

***Resumo.*** *A combinação adequada de propriedades dos aços inoxidáveis duplex torna esta classe de aços amplamente utilizada nas indústrias de petróleo e gás, controle de poluição e nuclear, papel e celulose, pelo fato de apresentarem uma excelente resistência à corrosão combinada à resistência mecânica superior aos aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos. O presente trabalho baseia-se na análise da precipitação de fases, particularmente a formação de fases intermetálicas em um aço inoxidável duplex UNS S 31803, como as fases χ e sigma, formadas durante o aquecimento por tratamento térmico a 750°C, onde grupos de três corpos de prova foram submetidos ao aquecimento por períodos de 1 hora, 5 horas, 10 horas e 14 horas. Os precipitados formados e a caracterização microestrutural foram analisados através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Tendo como objetivo a avaliação da dureza em cada corpo de prova nas diferentes condições do tratamento térmico, foi realizado um ensaio de microdureza Vickers.*

***Palavras Chave:*** *Tratamento térmico; Duplex; Precipitação de fases; Microestrutura.*

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento de materiais resistentes à corrosão tornou-se necessário no decorrer da história. No início do século XX, eram descobertos aços Fe-Cr martensíticos e ferriticos e logo depois os austeniticos, feitos de Fe-Cr-Ni, em que os níveis de carbono chegavam no mínimo a 0,008%, decorrente das novas técnicas de refino e fornos existentes. Assim nascia uma nova liga resistente à corrosão (GUNN, 1997). Uma das principais buscas no setor metalúrgico é o controle da corrosão. O desenvolvimento dos aços inoxidáveis significou um grande avanço na fabricação de materiais resistentes à corrosão. Dentre os aços inoxidáveis desenvolvidos, estão os aços inoxidáveis duplex (DAMIN; GENEROSO; NETO, 2017). As indústrias tinham um novo produto à venda, resistente à corrosão e a altas temperaturas, que no decorrer da história foi sendo cada vez mais comercializado. Hoje em dia, as exigências na indústria fazem com que os aços inoxidáveis tenham diferentes composições químicas, obedecendo a exigências e aplicações dos mesmos, sendo bem específicas (PADILHA; GUEDES, 2004).

As fases intermetálicas mais frequentemente encontradas nos aços inoxidáveis duplex são as fases sigma (σ) e chi (χ), porém nos aços inoxidáveis duplex, a fase χ ocorre em menor quantidade que a fase σ, no entanto, sua presença também é considerada prejudicial às propriedades do aço. Quando os aços inoxidáveis duplex são submetidos a altas temperaturas, ocorrem transformações de fases e mudança da microestrutura, influenciando diretamente nas propriedades mecânicas e de corrosão.

Fica esclarecido a importância de garantir a não existência da precipitação de fases intermetálicas no material, pois as mesmas afetam as propriedades mecânicas e resistência a corrosão. Componentes e equipamentos compostos por este material devem ser fiscalizados antes de entrar em uso, a fim de precipitar-se das falhas e acidentes que o mesmo pode provocar. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra uma micrografia típica do aço inoxidável duplex na condição comercial mostrando a fase ferrita (cinza escuro) e a fase austenita (cinza claro).

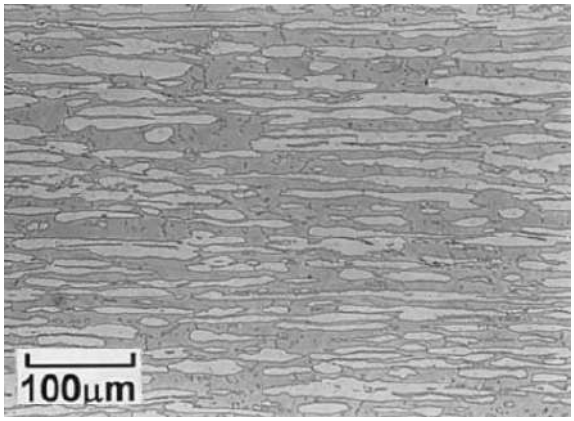



Figura 1. Microestrutura típica na condição comercial do aço duplex

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo é proposto o tratamento térmico de envelhecimento em um aço inoxidável duplex UNS S31803 em $750^0$ C, que é a temperatura em torno da qual propicia a precipitação de fases intermetálicas χ e σ. O tratamento térmico foi realizado em tempos que variam de 1 a 14 horas, com a finalidade de precipitar diferentes teores das fases de interesse.

### 2.1 Procedimento Experimental

O presente trabalho objetiva-se na análise da precipitação de fases, especificamente a formação de fases intermetálicas como χ e σ em um aço inoxidável duplex UNS S 31803, formadas durante o aquecimento por tratamento térmico a 750°C, onde grupos de amostras foram submetidos ao aquecimento por períodos distintos. Os precipitados formados e a caracterização microestrutural serão analisados através de microscopia óptica, e ainda uma análise mais detalhada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com a contagem dos percentuais de fases formadas em cada condição de tempo do tratamento térmico. A Figura 2 mostra de forma esquemática como foi organizada a metodologia do trabalho.

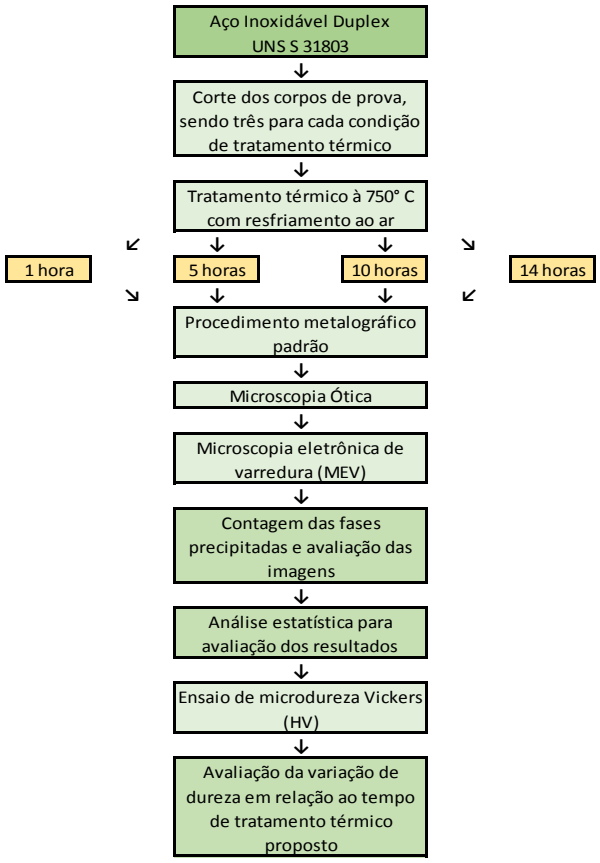



Figura 2. Fluxograma representando a metodologia do experimento

## 2.2 Materiais

O material utilizado nos experimentos foi o aço inoxidável duplex UNS S 31803. Foram preparados doze corpos de prova, visto que foram utilizados três corpos de prova para cada condição de tratamento térmico. Após a realização do tratamento térmico, os corpos de prova foram preparados pelo procedimento metalográfico padrão, com o intuito de fotografar a microestrutura das amostras no microscópio ótico, sendo preparada uma amostra de cada tempo distinto de tratamento térmico.

Posteriormente os corpos de prova foram submetidos ao lixamento, sendo as lixas de menor granulação até a maior, na sequência de 150, 220, 400, 600, 1200 e 2000. Para cada mudança de lixa, é necessário girar a amostra em 90°, para assim poder ver melhor os riscos e tentar eliminá-los a cada troca de lixa, dessa forma evitando problemas ao chegar na última lixa. Em seguida, fez-se o polimento das amostras, este na politriz da marca Struers, usando alumina.

Na próxima etapa, com os corpos de prova já lixados e polidos, passou-se para a parte do ataque químico. O reagente usado para no processo de revelação das fases existentes foi o Beraha's modificado, contendo 0,13 g de metabissulfito de potássio ($K_2S_2O_5$), 80 ml de água destilada e 20 ml de ácido clorídrico (HCl). O ataque sob imersão foi feito com cinco segundos e após, o corpo de prova era colocado em um copo becker contendo água por dez segundos, quando o mesmo era retirado e colocado em água corrente. A secagem total do corpo de prova foi feito com um secador de marca Taiff. As amostras já preparadas foram submetidas à metalografia com microscópio ótico AxioCam MRc 5, da marca Zeiss.

O reagente utilizado no o ataque químico foi feito no dia do experimento, em virtude de perder suas características ao decorrer do tempo. O mesmo é observado quando retirado do frasco para o ataque da microestrutura, ao passar de cinco minutos ele perde o poder de ataque, pois está em contato com o ar ambiente dando uma aparência leitosa ao reagente, fazendo-o perder seu poder de ataque. Os corpos de prova foram embutidos conforme mostra a Figura 3.

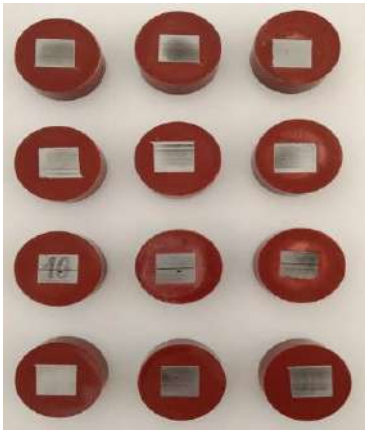


Figura 3. Corpos de prova embutidos para a aplicação do procedimento metalográfico padrão

## 2.3 Tratamento Térmico

O tratamento térmico foi feito no forno mufla da marca Jung, modelo 4212, com limite máximo de temperatura de 1200°C. O resfriamento do material foi feito em ar ambiente, sendo que no dia em que foi realizado o procedimento a temperatura ambiente era em torno de 18°C. O forno foi ligado 45 minutos antes do tratamento térmico.

Os corpos de prova foram levados ao forno, separados em quatro grupos, sendo que cada grupo era composto de três amostras. Todo o conjunto das doze amostras foram expostas ao tratamento térmico no mesmo instante, porém cada conjunto de três amostras foi retirado do forno nos diferentes intervalos de tempo, sendo estes de uma hora, cinco horas, dez horas e quatorze horas. A temperatura escolhida para o tratamento térmico foi 750°C, que de acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a precipitação da fase $\chi$ e $\sigma$ ocorrem entre as temperaturas de 600-1000°C observando o tempo de exposição ao tratamento térmico do presente experimento.

Os quatro grupos de amostras foram colocados no forno ao início do tratamento térmico, com o tempo de homogeneização da temperatura sendo de cinco minutos, tanto no começo do experimento quanto na retirada das amostras nos tempos estipulados no experimento. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, considerando que o máximo tempo de exposição seja em torno de 14 horas, mas em poucos minutos já pode ocorrer a precipitação de fases intermetálicas. Dentre estas fases citadas, também pode ocorrer a precipitação de nitreto de cromo e carbonetos.

Tendo como principal objetivo a verificação das fases precipitadas em uma mesma temperatura, sendo o que difere cada condição é justamente o tempo de exposição de cada corpo de prova, podemos relacionar cada tempo de exposição com a temperatura submetida, de acordo com a Figura 4.

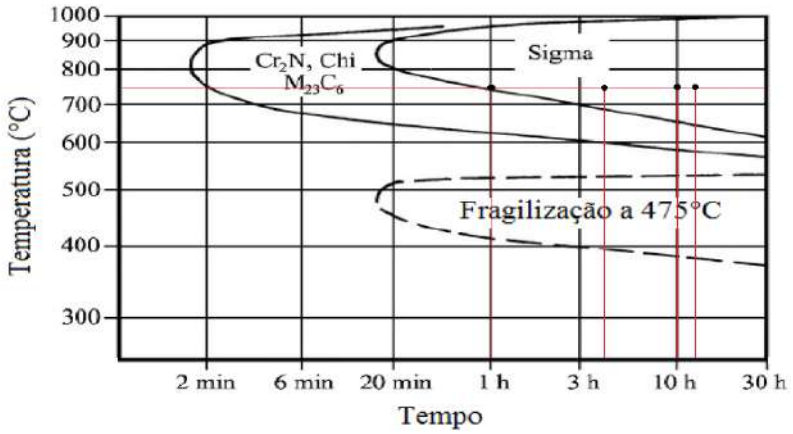



Figura 4. Diagrama temperatura vs. tempo da precipitação de fases intermetálicas nos AID

### 2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

A MEV foi utilizada para caracterização, morfologia e distribuição das fases presentes nas amostras. A caracterização elementar das possíveis fases observadas será realizada por Espectrometria de Energia Dispersiva e a caracterização cristalográfica será obtida por Difração de Elétrons Retro-espalhados (EBSD do inglês *Electron Backscatter Diffraction*) para cada tempo de tratamento aplicado.

A grande diferença do MEV ao microscópio ótico é que as imagens são observadas por um sistema de iluminação diferente. Um feixe de elétrons ilumina a superfície da amostra e se movimenta no sentido transversal e longitudinal, varrendo uma área especifica. A microscopia eletrônica é uma das técnicas mais importantes, pois através dela é feita a identificação das fases de acordo com a sua morfologia.

### 2.5 Ensaios de dureza Vickers

Com a ajuda do durômetro para microdureza Vickers foi medida a HV com carga de 1 kgf. A temperatura para a realização do experimento foi a temperatura ambiente, sendo essa 21°C.

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados nas amostras, buscando avaliar a variação de dureza do material com relação ao tempo de tratamento proposto. No ensaio de dureza, foram coletados cinco dados de cada amostra, sendo feito uma média e desvio padrão.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O seguinte capítulo destina-se a discussão dos resultados obtidos pelo tratamento térmico do material, análises de micrografia por microscopia ótica e posteriormente microscopia eletrônica de varredura, e ainda ensaio de HV. Espera-se obter informações sobre os percentuais de fases formadas em diferentes tempos de exposição dos corpos de prova a 750 ºC, sendo de fundamental importância entender os percentuais de fases formadas, pois a presença destas fases intermetálicas no material reduz drasticamente a sua ductilidade e resistência a corrosão. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, podemos observar a microestrutura do AID UNS S 31803 como recebido, sem o tratamento térmico. Todas as imagens feitas no microscópio ótico são da seção longitudinal a direção de laminação.

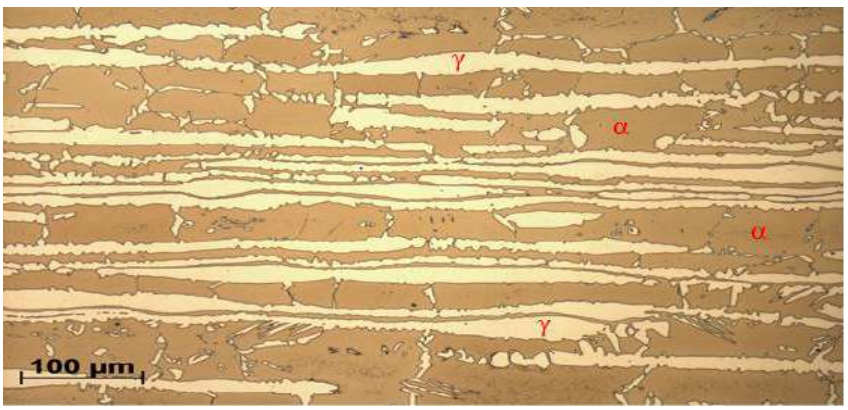



Figura 3. Micrografia do AID UNS S 31803 feita no microscópio ótico, em uma ampliação de 200x. Ataque sob imersão com Beraha's modificado

Na micrografia feita com o material disponibilizado, sem tratamento térmico, pode-se observar a típica estrutura do aço inoxidável duplex, onde está é composta de duas fases, sendo a fase austenita (γ) e fase ferrita (α), em torno de 50% de cada. Não há percepção de precipitação de fases. Com uma ampliação maior, nota-se que as fases estão bem distribuídas. Para podermos analisar a microestrutura do material submetido a tratamento térmico, com resfriamento ao ar, foi feito uma análise mais detalhada por microscopia eletrônica de varredura. Tendo uma ampliação de 5000 vezes, a Figura 6 ilustra a matriz do material, contendo além de ferríta e austeníta, uma pequena iniciação da precipitação de fases.

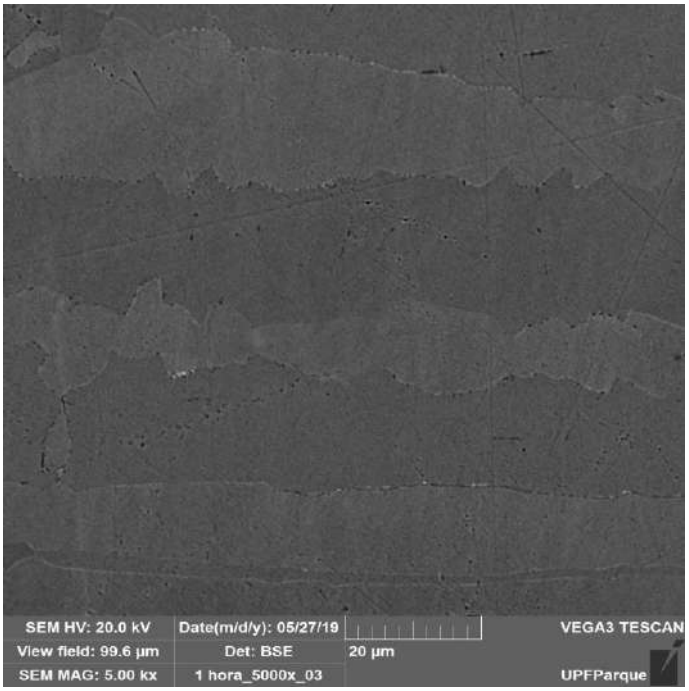



Figura 4. Micrografia do UNS S 31803 na condição de 1 hora de tratamento térmico, com uma ampliação de 5000x

Com cinco horas de tratamento térmico, a 750°C, o material começa a apresentar significativamente a formação de precipitações de fases chi e sigma. Com uma ampliação de 5000 vezes é possível ver mais detalhadamente a precipitação ocorrendo nos contornos de grão, conforme a Figura 7.

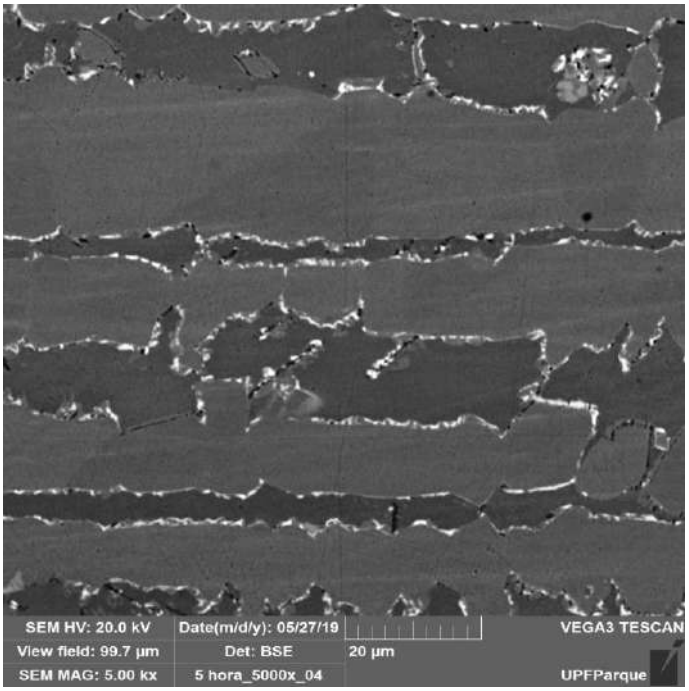



Figura 5. Micrografia do UNS S 31803 na condição de 5 horas de tratamento térmico, com uma ampliação de 5000x

Em dez horas de tratamento térmico, a precipitação de fases chi e sigma evolui consideravelmente. Conforme a Figura 22, o material se encontra impregnado com a precipitação de fases onde é possível notar que a maioria das interfaces da ferríta/austeníta tem precipitação de fases, juntamente com ilhas de precipitações.

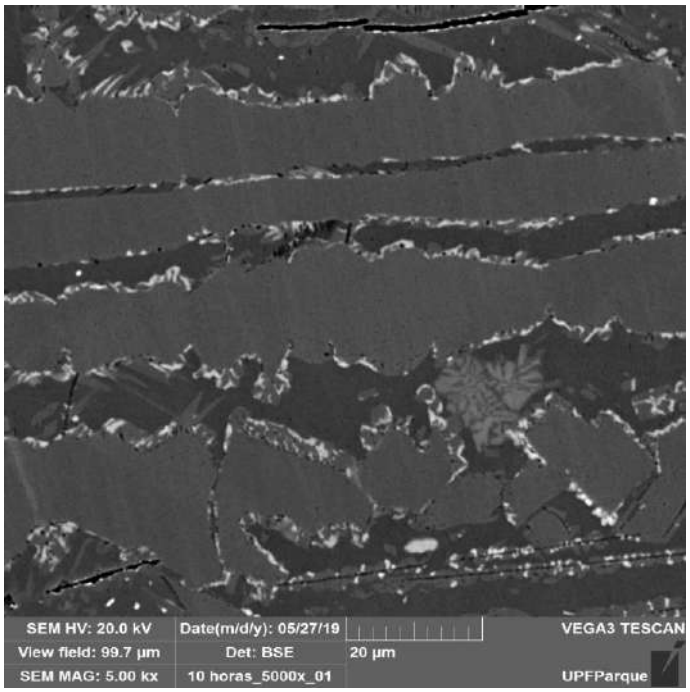



Figura 6. Micrografia do UNS S 31803 na condição de 10 horas de tratamento térmico, com uma ampliação de 5000x

Em quatorze horas de tratamento térmico a 750°C, conforme a Figura 9, a precipitação de fases chi e sigma no material evolui de forma que contamina a maioria das interfaces da ferríta/austeníta, apresentando precipitações da fase chi principalmente nos contornos de grão e ilhas de precipitações da fase sigma nas regiões ferríticas.

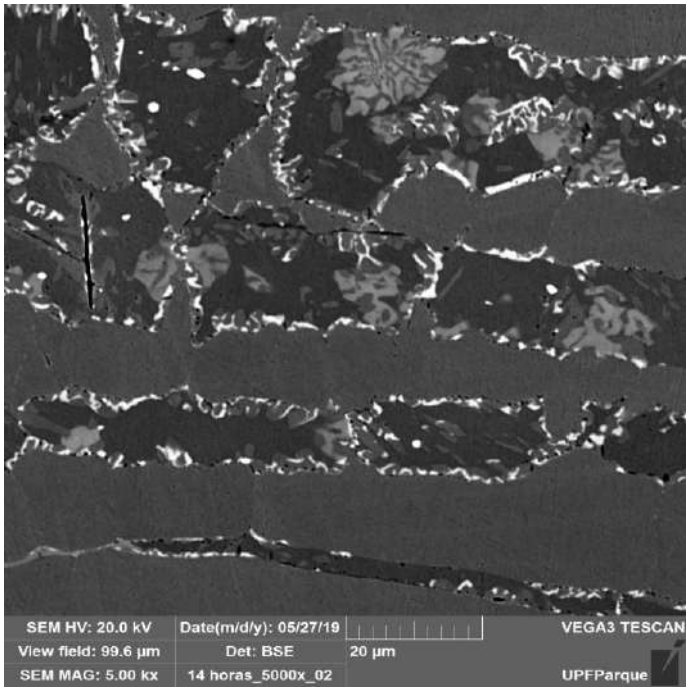



Figura 9. Micrografia do UNS S 31803 na condição de 14 horas de tratamento térmico, com uma ampliação de 5000x

Ao fazer uma contagem de fases precipitadas para as diferentes condições de tratamento térmico, podemos observar uma relação na formação das fases precipitadas, onde os precipitados formados se propagam mais lentamente

com um pequeno tempo de exposição, e seguem contaminando as fases da amostra conforme o aumento significativo de exposição ao tratamento térmico.

Yang et al. (2011), em seu experimento, tem uma relação da formação dos precipitados semelhantes ao do presente experimento, com um início mais lento e, após um longo tempo de exposição, a precipitação de fases se propaga mais rapidamente, contaminando totalmente as interfaces da ferríta/austeníta e em alguns locais na ferríta/ferríta. Vale ainda salientar que as temperaturas usadas em seu experimento são semelhantes ás do presente experimento.

Para podermos aplicar uma avaliação estatística com os dados dos percentuais das fases precipitadas, foi realizada a análise de três imagens de cada amostra para cada condição de tratamento térmico, tendo essas imagens uma ampliação de 5000 vezes, assim possibilitando a análise do percentual de cada fase formada. A Figura 10 mostra que os percentuais de fases precipitadas aumentam significativamente com maiores tempos de exposição ao tratamento térmico, e nos maiores tempos de exposição a fase chi diminui. Com base na revisão bibliográfica estudada, pode-se atribuir essa diminuição da fase chi, a transformação dessa fase precipitada em fase sigma, que predomina em maiores quantidades nos maiores tempos de exposição ao tratamento térmico.

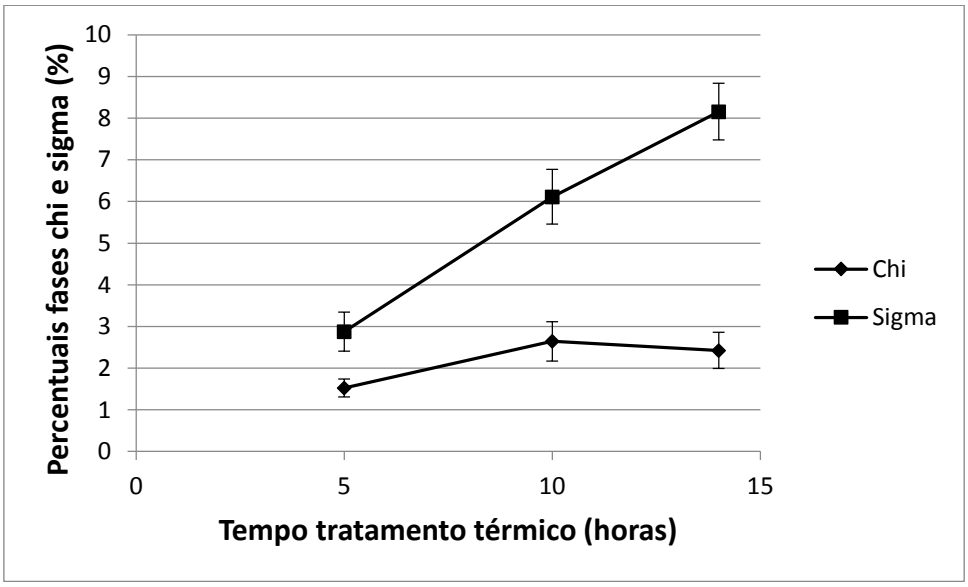



Figura 10. Contagem de fases precipitadas no aço inoxidável UNS S 31803 após o tratamento térmico

A Figura 11 mostra a variação da dureza nas diferentes amostras tratadas. Pode-se observar uma pequena variação na dureza de cada amostra, mas sendo esses valores muito próximos para cada condição de tratamento térmico. Vale lembrar que pelo método da HV, a identação é muito grande, abrangendo a parte da ferríta, austeníta e possivelmente de precipitações de fases.

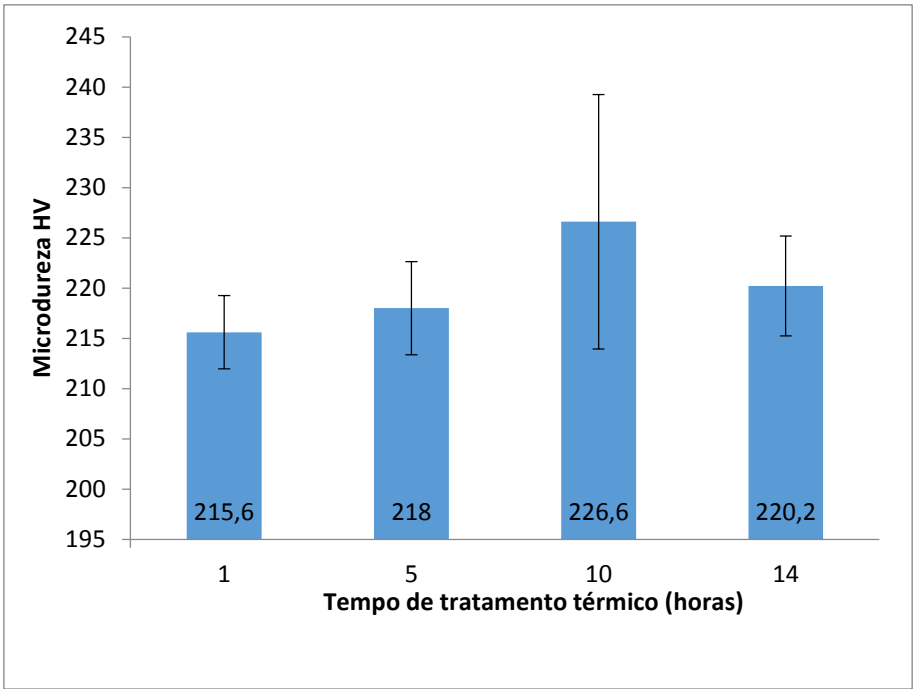



Figura 11. Contagem de fases precipitadas no aço inoxidável UNS S 31803 após o tratamento térmico

## 4. CONCLUSÕES

No estudo das modificações microestruturais no aço inoxidável duplex UNS S 31803, tratado termicamente a 750°C em tempos de 1 até 14 horas, para precipitação de fases intermetálicas, notou-se que a precipitação de fases ocorreu rapidamente e nos contornos de grãos da ferrita, bem como a evolução dentro da região ferrítica posterior nos demais tempos de tratamento. Entende-se que a resistência à corrosão do material é alterada quando presente as fases intermetálicas no material, havendo grande redução de seus potenciais. O conhecimento aprofundado de qual exatamente é a precipitação que se formou, além dos percentuais de cada precipitado, obtivemos com as imagens feitas no MEV. Através da contagem de fases precipitadas, podemos observar que o percentual dessas fases aumenta com maiores tempos de exposição ao tratamento térmico, e nos maiores tempos de exposição a fase chi diminui. Com base na revisão de literatura estudada, podemos atribuir o decréscimo da fase chi a transformação dessa fase precipitada em fase sigma, que predomina em maiores quantidades nos maiores tempos de exposição ao tratamento térmico. Quanto à HV, podemos observar uma pequena diferença entre exposições aos tempos de tratamento térmico, sendo esses valores muito próximos, podemos atribuir a variação a identação que na HV é muito grande, abrangendo a parte da ferríta, austeníta e possivelmente de precipitações de fases.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUNN, Robert N. Duplex stainless steels: microstructure, properties and applications. Abington: Woodhead Publishing, 1997.

DAMIN, Keli Vanessa Salvador; GENEROSO, Daniel João; NETO, Francisco Cavilha. Aços inoxidáveis duplex: uma breve visão. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 18, n. 29, p. 113-129, 2017.

PADILHA, Angelo Fernando; GUEDES, Luis Carlos. Aços inoxidáveis austeníticos: microestrutura e propriedades. São Paulo: Hemus, 2004.

YANG, Y. H. et al. The influence of solution treatment temperature on microstructure and corrosion behavior of high temperature ageing in 25% Cr duplex stainless steel. Journal of Alloys and Compounds, Dresden, v. 509, n. 36, p. 8870-8879, 2011.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DE DESEMPENHO DE POLÍMEROS PARA A CONSTRUÇÃO DE BLOCOS HIDRÁULICOS DE BAIXA PRESSÃO

**Emanoel Henrique Fritzen**
**Márcio Walber**
**Rafael Koppe**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
153902@upf.br, mwalber@upf.br, rafaelkoppe@upf.br.

***Resumo:*** *Com o desenvolvimento da indústria dos polímeros, muitos produtos que antigamente eram produzidos com materiais como o vidro, cerâmica, aço, etc. hoje estão sendo substituídos por diversos tipos de plásticos que, devido à sua versatilidade, menor peso, maior facilidade de manuseio e menor custo de produção, cumprem de forma mais eficaz os requisitos pretendidos para os produtos. A fim de inovar, buscando as melhoras citadas anteriormente, tem-se por objetivo desse trabalho, selecionar e avaliar o desempenho de um polímero para aplicar na construção de blocos hidráulicos de baixa pressão. Para isso serão selecionados diferentes materiais poliméricos, e neles será reproduzido a região roscada de válvulas comerciais, e através de ensaios de tração, hidrostático, e posteriormente uma análise estatística, poderá-se afirmar qual dos materiais selecionados é o mais indicado para a aplicação aqui imposta.*

***Palavras chave:*** *Sistema hidráulico; polímero; hidrostática; óleo hidráulico; seleção de materiais***.**

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento mecânico de materiais poliméricos está se tornando cada vez mais frequente devido ao seu largo uso nas indústrias. É evidente que o crescente interesse pelos polímeros não é por acaso, mas sim porque estes materiais conseguem aliar características bastante desejáveis comparados aos materiais metálicos.

Com o desenvolvimento da indústria dos polímeros, muitos produtos que antigamente eram produzidos com materiais como o vidro, cerâmica, aço, etc. hoje estão sendo substituídos por diversos tipos de plásticos que, devido à sua versatilidade, menor peso, maior facilidade de manuseio e menor custo de produção, cumprem de forma mais eficaz os requisitos pretendidos para os produtos.

A fim de inovar, buscando redução de custos, peso e facilitar processos, tem-se por objetivo desse trabalho, selecionar e avaliar o desempenho de um polímero para aplicar na construção de blocos hidráulicos de baixa pressão.

O bloco hidráulico é um elemento de adequação operacional das válvulas nos circuitos hidráulicos. Aplicado no sistema hidráulico, o bloco é responsável por distribuir o óleo através do circuito. O fluxo pressurizado é direcionado pelas válvulas instaladas no bloco e posteriormente direcionadas através de mangueiras para algum tipo de dispositivo de trabalho, como um motor ou cilindro hidráulico.

O trabalho em questão será dividido em duas etapas. Primeiramente, será selecionado um material, esse será submetido aos testes de tração e hidrostático, e servirá de teste piloto para obtenção de dados parciais e testar os métodos de ensaios realizados.

Posteriormente, serão selecionados mais materiais para análise, os quais serão submetidos aos mesmos testes, tento assim dados para comparação e através de uma análise estatística, verificar se é viável utilizar um dos materiais para construção de blocos hidráulicos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foi feito uma breve revisão dos assuntos mais pertinentes que darão embasamento para selecionar e avaliar os materiais para aplicar na construção de blocos hidráulicos.

### 2.1.1 Sistemas hidráulicos

Um sistema hidráulico, segundo Linsingen (2008), é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permite a transmissão e o controle de forças e movimentos.

O uso do fluido confinado é um dos modos mais versáteis para modificar movimentos e transmitir forças. A combinação apropriada dos elementos físicos, cada qual com características operacionais próprias, de conversão controle e limitação de energia, faz com que uma forma de energia de entrada seja convertida e condicionada, de modo a se ter como saída uma energia mecânica útil (MOREIRA, 2012). A Figura 1 mostra um circuito destacando as unidades de um sistema hidráulico qualquer.

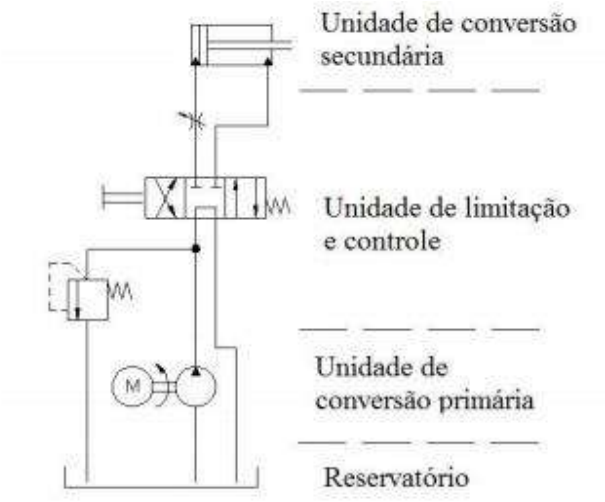



Figura1. Exemplo de sistema hidráulico

### 2.1.2 Unidade de limitações e controle

Dependendo do trabalho a ser realizado, diferentes formas de controles precisam ser utilizadas sobre o fluido, como o controle da pressão, controle de vazão e o controle do sentido do fluxo de óleo, e para cada função é necessário que haja um componente adicional instalado de forma isolada ou inclusa em outro componente (DRAPINSKI, 1977).

A limitação e o controle de energia do sistema, segundo Linsingen (2013), é atingida através da alteração dos valores da potência e da vazão hidráulica. Isto pode ser feito segundo dois princípios:

1. *Controle conservativo:* realizado por bombas e motores de deslocamento variável;
2. *Controle resistivo:* realizado por válvulas dissipativas que disponibilizam a energia desejada por meio da transformação do excedente em energia térmica.

No controle resistivo, as válvulas são conectadas entre si, através de um bloco hidráulico, também chamado de bloco Manifold (Figura 2), que são elementos de adequação operacional das válvulas aos circuitos hidráulicos, onde o fluxo pressurizado é regulado por válvulas instaladas no bloco e direcionadas através de mangueiras para algum tipo de dispositivo de trabalho, como um motor ou cilindro hidráulico. Ele interliga, pelos seus furos internos, as válvulas do sistema, compactando o tamanho de um sistema hidráulico e dando fim aos indesejáveis vazamentos de óleo de mangueiras e tubos (LINSINGEN, 2013).

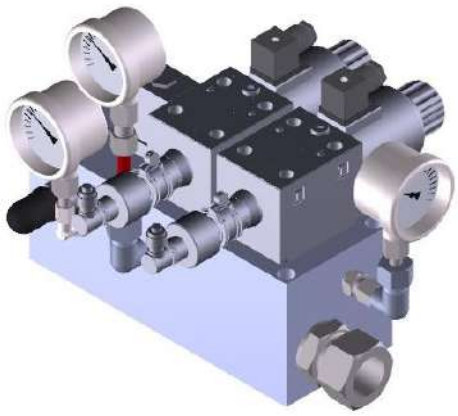


Figura 2. Bloco Manifold

## 2.2 Polímeros

Segundo Manrich (2005), polímero é qualquer material orgânico ou inorgânico, sintético ou natural, que tenha um alto peso molecular com variedades estruturais repetitivas, sendo que normalmente esta unidade que se repete é de baixo peso molecular.

Devido a diversidade de estruturas que as macromoléculas podem apresentar, os polímeros podem ser classificados de acordo com o diagrama proposto exibido na Figura 3.

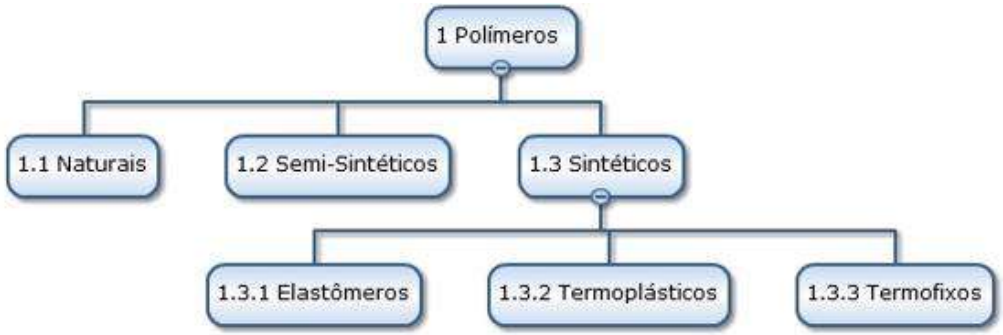



Figura 3. Classificação dos polímeros

Os polímeros naturais são os que podem ser obtidos diretamente da natureza. Os polímeros semissintéticos, ou também conhecidos como artificiais, são obtidos através de reações químicas a partir de polímeros naturais. Já os polímeros sintéticos são os produzidos exclusivamente por reações de transformação, como reações químicas por exemplo (MANO, 2004).

### 2.2.1 Polímeros Termoplásticos

São os plásticos mais utilizados na engenharia, podem ser usados para aplicações diversas, tais como engrenagens e peças estruturais, permitindo seu uso em substituição a materiais clássicos e custosos. Por esse motivo, são classificados em commodities, materiais de engenharia, materiais de alto desempenho e materiais de ultra desempenho (MANO, 2004).

Cada classificação caracteriza os materiais de acordo com suas propriedades, sendo os commodities, os que possuem propriedades mais simples e valor comercial reduzido, e os de ultra desempenho materiais com elevadas propriedades e alto custo (MORAES, OLIVEIRA, & ALVES, 2011).

São exemplos de polímeros termoplásticos:

- PET – Poliéster saturado;
- PVC – Policloreto de Viníla;
- PE – Polietileno;
- PP – Polipropileno;
- ABS – Acrilo Butadieno;
- PMMA – Polimetil metacrilato ou Acrílico;
- PC – Policarbonato;
- PA – Poliamidas – “Nylon”;
- POM – Poliacetal – “Delrin”.

## 3. METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é descrever os métodos, equipamentos e materiais utilizados no trabalho experimental. Bem como os passos de desenvolvimento do Trabalho.

### 3.1 Materiais Utilizados

Para a primeira etapa do trabalho o material definido foi o Policloreto de Vinila, mais conhecido como PVC, é um dos plásticos mais utilizados no mundo, sendo utilizado em uma ampla variedade de aplicações. Tornou-se popular devido às suas boas características físicas, seu preço baixo e processo de obtenção fácil (WANG, 2007).

A escolha do PVC para essa primeira etapa, se deu por ser um material de excelente usinabilidade e possuir alta resistência mecânica, além de ter um custo relativamente baixo, é totalmente compatível quimicamente com o óleo mineral utilizado em sistemas hidráulicos.

O óleo que será utilizado para esse experimento será o óleo mineral ISO 68 para sistemas hidráulicos. A escolha se deu devido a ser um óleo indicado para sistemas de baixa pressão, onde a variação de temperatura é relativamente pequena, além de ser quimicamente compatível com o material utilizado. A Tabela 1 mostra as propriedades do óleo utilizado.

Tabela 1: Especificação do óleo utilizado no experimento

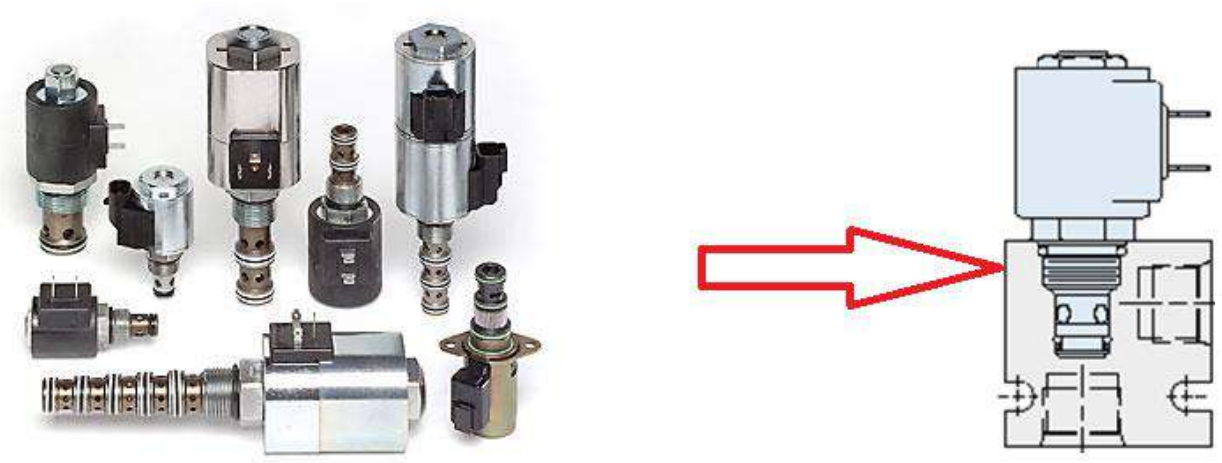
| **LINHA HIDRA** | | **68** |
|---|---|---|
| Cor | NBR 14483 | 3 |
| Aparência | M.A.L. 010 | Líq. Límpido |
| Densidade a 20/4°C | NBR 7148 | 0,86 |
| Viscosidade cSt a 40ºC | NBR 10441 | 68 |
| Ponto de Fulgor, ºC | NBR 11341 | 200 |
| Ponto de Fluidez, ºC | NBR 11349 | -5 |
| TAN, mg KOH/g | NBR 14248 | 0,25 |
| Corrosão a Lâmina de cobre | NBR 14358 | 1A |

### 3.1.1 Corpos de Prova

Segundo Linsingen (2013) os blocos hidráulicos são elementos de adequação operacional das válvulas aos circuitos hidráulicos, portanto, para realização do experimento, os corpos de prova foram feitos levando em consideração apenas a região crítica dos blocos, que é a região roscada onde é acoplada as válvulas e mangueiras.

Essa região tem a geometria interna normatizada de acordo coma norma DIN 24342, que normaliza as dimensões das válvulas, bem como as do corpo onde ela será instalada, garantindo as devidas folgas internas para o correto funcionamento do equipamento.

Para o trabalho em questão, foi utilizada como base uma válvula de cartucho on/off. A Figura 4A mostra os modelos dessas válvulas disponíveis no mercado que seguem a norma DIN citada anteriormente, e a Figura 4B mostra a válvula montada em um determinado corpo, indicado pela seta está o corpo normatizado que será reproduzido nos corpos de prova.



(A) (B)

Figura 4. Válvulas de cartucho on/off

As dimensões normatizadas, bem como o corpo de prova em si, podem ser vistos na Figura 5.

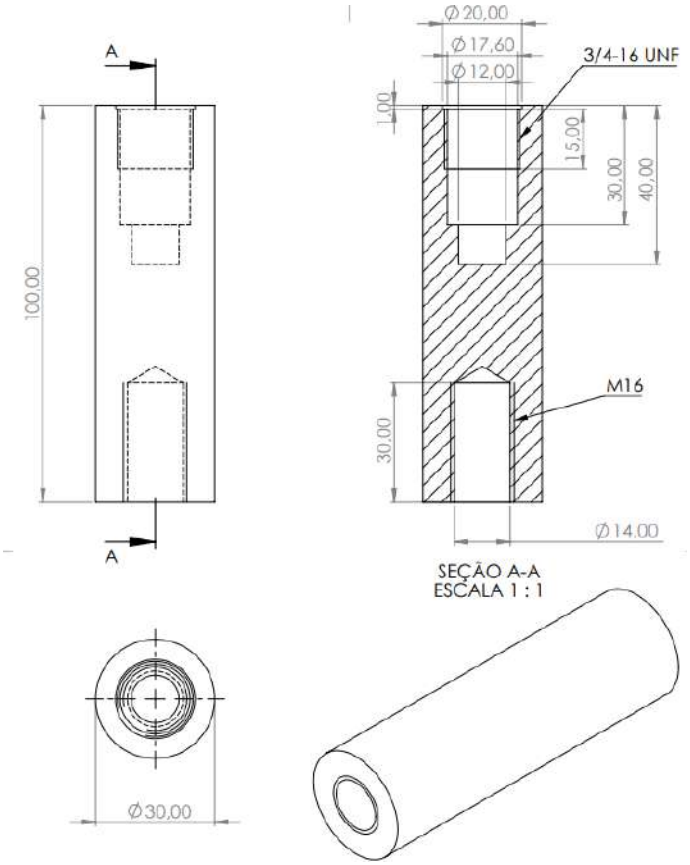



Figura 5. Representação do corpo de prova

### 3.2 Ensaio de Tração

Os blocos hidráulicos, além de darem suporte as válvulas, interligam estas aos demais componentes dos sistemas por meio de tubos metálicos ou mangueiras que comumente sofrem ação de forças externas, como forças geradas por dilatação térmica em tubos, ou pulsos gerados por choques hidráulicos em mangueiras, acarretando forças de tração na região de união. Com o intuito de avaliar a resistência da junta roscada e das forças de tração citadas, será realizado ensaios de tração.

O ensaio consiste em prender o corpo de prova pelas suas extremidades nas garras de fixação da máquina de tração. O corpo de prova é então submetido a um esforço aplicando uma carga gradativa de força, até que o mesmo venha a falhar.

O ensaio será realizado na máquina de tração SCHENCK, do Núcleo de Tecnologia Mecânica da FEAR (Faculdade de Engenharia e Arquitetura) presente no campus I da Universidade de Passo Fundo, a qual tem capacidade de 20 toneladas para tração e compressão.

Como o intuito é verificar quanta força a junta roscada PVC/Válvula suporta, de um lado do corpo de prova será rosqueado um elemento semelhante ao de uma válvula (Figura 6), preservando as medidas críticas de tamanho e rosca de válvulas comerciais segundo a norma mencionada anteriormente, para conseguir dados referentes a produtos existentes no mercado.

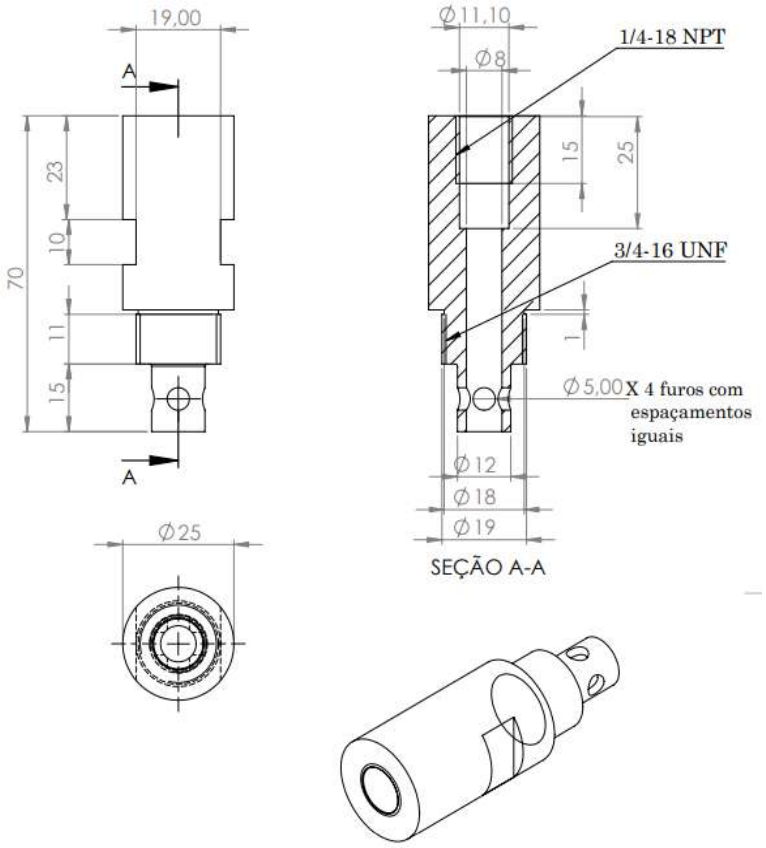



Figura 6. Elemento de válvula

Do outro lado do corpo de prova será rosqueado um parafuso M16, que tem como função apenas servir de apoio para a garra da máquina, e garantir que a falha ocorra no lado oposto, onde está o elemento de válvula. A figura 7 mostra o corpo de prova montado na máquina, pronto para o ensaio de tração.



Figura 7. Corpo de prova montado para ensaio de tração

### 3.3 Ensaio Hidrostático

O teste hidrostático tem basicamente a função de verificar a resistência mecânica e condições de estanqueidade do conjunto. O teste em si consiste em encher completamente o componente que se quer avaliar com o líquido de operação, até que uma determinada pressão seja atingida.

Normalmente essas pressões situam-se na ordem de 1,5 vezes a pressão máxima de trabalho admissível. Simula-se então uma condição operacional mais rigorosa, para garantir que em serviço normal (a pressões mais baixas) não ocorrerão falhas ou vazamentos. Esse teste segue a norma NR 13 que regulamenta os períodos de testes e inspeções nos vasos de pressão.

Para a realização desse experimento foi utilizado uma peça que se assemelha ao de uma válvula, preservando dimensões e perfil de rosca das válvulas comerciais normatizadas, que também foi usado no teste de tração (Figura 6). A peça será rosqueada no corpo de prova em uma das extremidades, e na outra será acoplado uma bomba hidráulica manual, com capacidade de até 700bar de pressão, conforme visto na Figura 8.

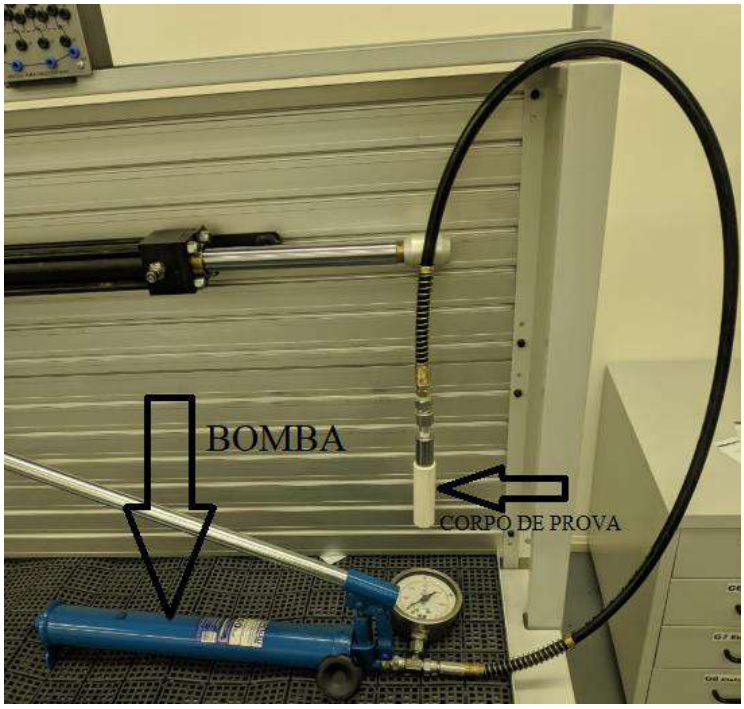



Figura 8. Corpo de prova montado na bomba

Para que os dados obtidos possam ser comparados, o procedimento deve ser igual para todos os testes, por isso em todos os ensaios será dado o aperto de mesmo torque entre a peça e o material, preservando assim a integridade da rosca para uma melhor coleta de dados.

O ensaio tem por objetivo observar quanto de pressão o equipamento suporta até sua falha, que nesse caso poderá ser por rompimento do conjunto ou início de algum vazamento.

O estudo implica em obter dados para aplicação em sistemas de baixa pressão, que segundo Fialho (2011) a N.F.P.A. (National Fluid Power Association), afirma que os sistemas de baixa pressão são os que trabalham com pressões da ordem de 0 a 14 bar. A classificação completa dos sistemas hidráulicos pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos Sistemas Hidráulicos segundo a N. F. P. A.

| **Pressão** | | **Classificação** |
|---|---|---|
| Bar | Psi | |
| 0 a 14 | 0 a 203,10 | Sistema de Baixa Pressão |
| 14 a 35 | 203,10 a 507,76 | Sistema de Média Pressão |
| 35 a 84 | 507,76 a 1218,68 | Sistema de Média – Alta Pressão |
| 84 a 210 | 1218,68 a 3046,62 | Sistema de Alta Pressão |
| Acima de 210 | Acima de 3046,62 | Sistema de Extra – Alta Pressão |

O experimento seguirá a seguinte metodologia: Primeiramente será levado o conjunto até a pressão limite que caracteriza os sistemas de baixa pressão, ou seja, 14 bar. Será aguardado o tempo de 1 minuto com essa pressão constante, verificando um possível vazamento. Não ocorrendo falha, será acrescida a pressão em mais 10 bar, mantendo a pressão constante por mais 1 minuto. Esse procedimento de aumentar a pressão em 10 bar e aguardar por 1 minuto seguirá sucessivamente até o conjunto falhar.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão colocados e discutidos os resultados parciais obtidos. Os dados obtidos nos ensaios podem ser visualizados na tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios

| AMOSTRA | MATERIAL | TRAÇÃO (N) | HIDROSTÁTICO (bar) |
|---|---|---|---|
| 1 | PVC | 12456 | 120 |

Do ensaio de tração, o resultado obtido é mais do que satisfatório. Instalados os componentes no bloco, como válvulas, manômetros ou até mangueiras, durante o serviço do dia a dia podem sofrer algum tipo de solicitação de tração, e por isso devem ter sustentação para manter-se no lugar para o correto funcionamento do equipamento.

Do ensaio hidrostático esperava-se resultados que caracteriza-se o sistema para trabalhar em sistemas de baixa pressão. O resultado obtido parcialmente no teste piloto superou as expectativas, pois com o valor encontrado, o equipamento está apto a trabalhar em sistemas de média pressão também, como visto anteriormente na tabela 2, considerando ainda uma boa margem de sobre pressão.

Com os resultados obtidos já se pode ter uma ideia se será possível aplicar um material polimérico na construção de blocos hidráulicos, nesse caso o PVC. Sabe-se que são apenas testes preliminares, e por isso é de suma importância a parte dois do projeto, onde serão analisadas mais amostras de PVC, bem como de outros materiais.

## 5. CONCLUSÕES

Através dos dados obtidos pode-se ter uma ideia da viabilidade de usar o PVC ou outro material polimérico na construção de blocos hidráulicos. Os valores encontrados nos ensaios superaram as expectativas, pois, o que no início era para trabalhar somente em circuitos de baixa pressão, agora pode passar a trabalhar em sistemas de média pressão também.

Como esse foi apenas um teste piloto, posteriormente, na segunda parte do trabalho, onde será feita a continuidade do experimento, poderá-se embasar estatisticamente qual dos materiais aqui selecionados terá melhor desempenho e é o melhor para a aplicação na construção de blocos hidráulicos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Deutsches Institut für Normung. *DIN 24342: Housing cavity dimensions.*
Drapinski, J. (1977). *Hidráulica e Pneumática: Industrial e Móvel.* São Paulo : MacGraw Hill do Brasil.
Fialho, A. B. (2011). *Automação Hidráulica - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos.* São Paulo: Érica.
Linsingen, I. V. (2008). *Fundamentos de Sisitemas Hidráulicos* . Florianópolis : UFSC.
Linsingen, I. V. (2013). *Fundamentos de Sistemas Hidráulicos.* Florianópolis : Editora da UFSC.
Mano, E. B. (2004). *Introdução a Polimeros* . São Paulo: EDGAR BLUCHER .
Manrich, S. (2005). *Processamento de Termoplásticos.* São Paulo: Artliber.
Moraes, S. R., Oliveira, A. L., & Alves, J. D. (2011). *Avaliação de polímeros termoplásticos recicláveis como materiais componentes de telhas e tijolos.*
Moreira, I. d. (2012). *Sistemas Hidráulicos Industriais.* São Paulo: SENAI.
Norma Regulamentadora *Nº 13 - Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações.*
Wang, R. R. (2007). *Cloreto de Polivinil - PVC.*

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO DAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA FIBRA DE CARBONO COM APLICAÇÃO EM VEÍCULOS DO TIPO BAJA

**Márcio Walber**
**David Luis Tejedor Diego**
**Germano Lasch**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
mwalber@upf.br; davidltd@gmail.com; 151972@upf.br

***Resumo:*** *Este trabalho tem como objetivo estudar os processos construtivos de materiais compósitos utilizando fibra de carbono, tem como aplicação principal o projeto Baja SAE. O projeto Baja SAE, reúne estudantes com o desafio de projetar e fabricar um veículo de competição off-road. Será feito um estudo aprofundado do material de fibra de carbono, onde o mesmo possui propriedades excepcionais para o uso em engenharia, também será analisado os possíveis componentes do veículo Baja para finalmente projetar e fabricar um destes componentes em material compósito de fibra de carbono. O material compósito elegido foi o polímero reforçado com fibra de carbono, e o componente a ser fabricado foi a carcaça interna da proteção do cambio variável (CVT). Será demostrado como o novo componente reduz significativamente o peso do componente ao qual substitui cumprindo as suas funções, apresentando assim uma melhora para o rendimento do veículo.*

***Palavras chave:*** fibra de carbono, fabricação, veículo Baja SAE.

## 1. INTRODUÇÃO

O carbono é um dos materiais mais abundantes no universo, que o torna capaz de reagir com muitos elementos para produzir infinidade de compostos. Este carbono é subdividido a traves de milhares de fibras muito finas que proporcionam a força, fundindo-se em uma matriz que proporciona rigidez ao composto. Tais elementos separados não teriam utilidade para os fins que se esperam, mas quando misturadas, a matriz agrupa todas as fibras para que estas atuem em conjunto e esta é a chave para a grande resistência dos compostos de fibra de carbono segundo Chung (1994).

O uso de CFRP (*Carbon Fiber Rinfoced Polymer*) tem aumentado muito nas últimas décadas, podem-se citar como exemplos o primeiro *cockpit* de carbono de um carro de F1 no ano de 1981 até os dias atuais, e também, o *Boeing 787 Dreamliner* fabricado usando 50% de materiais compósitos, dessa forma o objetivo geral deste trabalho será estudas as propriedades e características da fibra de carbono, com aplicação em veículos do tipo Baja.

As fibras de carbono referem-se a fibras que são pelo menos 92 % de carbono na composição. Elas podem ser curtas ou contínuas; a sua estrutura pode ser cristalina, amorfa ou parcialmente cristalina.É uma matéria prima produto da pirolise de materiais carbônicos; polyacrilonitrilo, breu ou raiom O poliacrilonitrilo ou PAN, e um polímero composto por cadeias de monômeros acrilonitrilo (CH2=CH-CN) que, segundo Chung (1994), e feita através da mistura de propileno, amoníaco e oxidante. A breu e um composto liquido de viscosidade muito alta produto da pirolise de material orgânico ou destilação de alcatroes. E o raiom e simplesmente seda artificial. Após a oxidação de estes materiais, o que vem sob a forma de fibras com alta resistência mecânica e baixa densidade, segundo Morgan (2005).

Segundo Chung (1994) as propriedades mecânicas das fibras de carbono incluem uma densidade mais baixa do que o aço com maior resistência à tração (3530 Mpa), módulo de elasticidade (234 GPa) e alongamento até fratura de 1,9 %. As excelentes propriedades da fibra de carbono permitem que que ela seja utilizada em qualquer de suas configurações, para reforçar outros materiais com bons resultados. Os materiais que mais se beneficiam das propriedades mecânicas da fibra de carbono são polímeros, metais, cerâmicas e carbonos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do trabalho, primeiramente será analisado e determinado o material mais adequado para ser mesclado com a fibra de carbono em um componente veicular, após isso será determinado qual componente a ser fabricado e serão estudadas as diferentes possibilidades de sua fabricação, por fim deverão ser realizados testes com a peça comparando com a anterior feita inteiramente de aço.

### 2.1 Determinação do melhor material mesclado com fibra de carbono

Após análise, foi constatado que os materiais a serem mesclados com a fibra de carbono, para a aplicação desejada, são os polímeros, uma vez que estes resultam em excelentes propriedades mecânicas no momento que se misturam com fibras de carbono. As propriedades de força e resistência da CFRP são ideais além de produzir peças com uma massa consideravelmente menor se comparado com peças de outros materiais, como o aço por exemplo, e ainda, esse material é capaz de melhorar as propriedades térmicas. Outro fator importante é o custo deste material. Levando-se em consideração que este processo é o mais barato de todos, porque a sua produção pode ser muito simples podendo-se evitar o uso de fornos de alta temperatura, outro aspecto positivo é o baixo custo da matéria prima.

Dentro dos polímeros reforçados com fibra de carbono, os termofixos foram os primeiros a serem utilizados e ainda hoje seu uso prevalece, portanto, tem um menor custo, segundo Chung (1994). Segundo FAA (*Federal Aviation Administration* (2012)), as maiores vantagens do polímero epóxi são a sua grande capacidade de adesão, as maiores desvantagens são a sua fragilidade e a redução de algumas propriedades com a umidade. Estas propriedades se ajustam perfeitamente as necessidades do projeto Baja, portanto a matriz epóxi reforçada com fibra de carbono será a escolhida, já que se busca grande simplicidade, e a principal limitação é o custo.

### 2.2 Determinaçõ da peça a ser fabricada

A peça elegida será a peça posterior da caixa de proteção da CVT (Figura 1). Esta peça tem a função de proteger o câmbio do impacto de pequenas pedras, da ação da água e barro, além de manter uma temperatura relativamente baixa (a temperatura atingida atualmente é de aproximadamente 50-60 ºC) no interior para não prejudicar o rendimento do cambio e permitir a transmissão de potência com a menor perda possível. A caixa de proteção da CVT atual é fabricada em aço e pesa aproximadamente 2.3 kg. A peça não é estrutural e sua função é proteger a CVT do exterior, não necessitando da rigidez e a força do aço para cumprir sua função, assim a substituição por fibra de carbono é uma ideia interessante. Também, é uma peça de geometria relativamente simples e pequena, o que não requer uma grande quantidade de material. A substituição por compósito de fibra de carbono deverá manter estas funções além de reduzir o peso significativamente para justificar o aumento de custo total de fabricação do veículo.



Figura 1. Caixa de protação CVT.

### 2.3 Formas de fabricação e modelo

Segundo Morgan (2005), existem diferentes tipos de padrões de fabricação para os tecidos de fibra de carbono, sendo: *plain* (Fig. 2a), *satin* (Fig. 2b), *twill* (Fig. 2c), *unidirectional* (Fig. 2d). Além das diferenças estéticas entre os tecidos, a diferença mais importante é a resistência. Para este projeto se pretende utilizar tecido de tipo *twill*, que segundo Morgan (2005), é um tecido mais flexível que o do tipo *plain*, por isso é o mais recomendado para partes com curvas complicadas e a sua resistência final é maior, pelo fato das suas fibras estarem menos entrelaçadas.

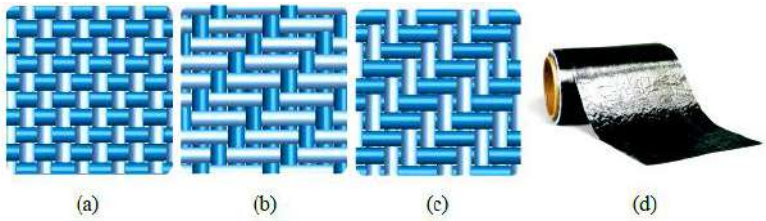



Figura 2. Diferentes padrões oferecidos no mercado.

O item 7.11.1 do regulamento da SAE Brasil especifica que as proteções de elementos em rotação a velocidade igual ou superior ao eixo motor devem possuir um recobrimento de aço de 1,524 mm, ou 3,048 mm no caso de que seja outro material, para proteger de um possível rompimento da correia por força centrifuga. Neste projeto se usará a peça atual de aço como molde interno (Figura 3) para fabricar a peça em fibra de carbono, deste modo a peça sairá um pouco maior que a anterior, sobrando espaço para colocar um anel de aço protetor para a correia no interior da peça, sem comprometer as distâncias de funcionamento no interior da CVT (*Continous Variable Transmission*).

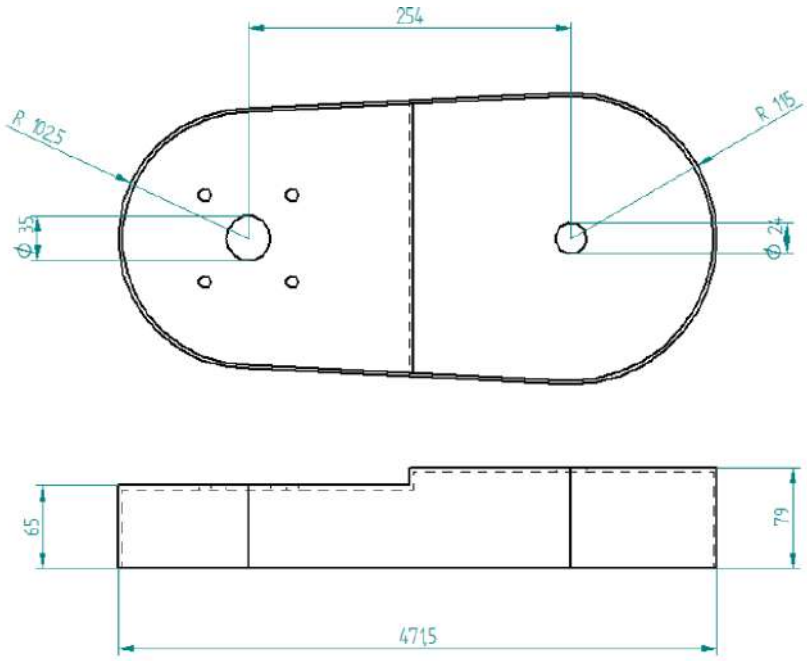



Figura 3. Vistas da peça usada como molde interno (dimensões em milímetros).

O molde de aço vai sofrer duas modificações: a peça original apresenta um desnível com duas angulações consecutivas que não são favoráveis para a moldagem da fibra de carbono, então este desnível vai ser suavizado adicionando massa plástica. O molde também apresenta uma superfície plana extensa que vai comprometer a rigidez da geometria final, para corrigir este problema será adicionado uma ondulação ao molde. Ambas correções serão feitas com massa plástica de poliéster utilizadas em automóveis.

### 2.4 Realização de ensaios e testes para validação do projeto

Foram realizados vários testes de fabricação no molde de fibra de vidro, no molde de aço e na massa plástica, para verificar de maneira prática que a fabricação em estes materiais não apresentava problemas. A proteção da CVT finalizada em fibra de carbono foi montada no veículo (Figura 4a, 4b) e testada durante 2 horas, em asfalto, terra e pedras, simulando condições de competição.



(a) (b)

Figura 4. Proteção da CVT em CFRP montada no veículo

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros testes efetuados foram de três tipos de moldagem, antes de fabricar o componente. O teste em molde de fibra de vidro desmoldou corretamente e a rigidez da peça foi satisfatória. O teste de curvatura na massa plástica de poliéster também foi satisfatório demostrando que essa massa plástica não apresenta inconveniente ao se aplicar resina epóxi sobre ela e resulta em um bom acabamento, também demostrou que a adição de uma superfície curva na fibra de carbono aumenta a rigidez da superfície.

O teste que foi realizado em aço no canto vivo demostrou que o aço também não apresenta nenhum inconveniente ao se trabalhar a resina no mesmo. Mas também demostrou um aspecto relativamente inesperado, nos locais onde a fibra de carbono tende a ficar reta, mesmo impregnada com a resina e quando aplicada em moldes com curvas pronunciadas ou cantos vivos, a mesma desgruda parcialmente do molde e cria por si mesma uma curva mais suave. Isto afeta o acabamento já que produz uma peça com um aspecto menos bonito de se ver, ao separar-se do banho de resina principal, mas não afeta significativamente a rigidez da peça, tendo em vista que as tensões acumuladas no canto vivo seriam maiores com uma curva menos suave.

Depois do resultado do teste no canto vivo de aço, se considerou interessante fazer mais um teste parecido, mas agora puxando o material para não desgrudar do molde no processo de cura. Ao concluir o teste foi possível descobrir que além de ter sido um pouco desgrudado, apesar das tentativas forçadas para isto não acontecer (Figura 5), a resistência final do corpo foi menor que a do teste anterior. Onde foi possível comprovar na prática e aprender que é necessário evitar ângulos pequenos e cantos vivos quando se trabalha com CFRP e se quer obter o melhor acabamento e propriedades do material.



Figura 5. Resultado do segundo teste forçando a peça não desgrudar do molde.

Depois de desmoldar a proteção da CVT e cortar o material em excesso, a peça foi pesada na balança digital onde se observou um peso de 258 gramas (Figura 34a) em comparação com a peça anterior fabricada em aço de 2.27 Kg (Figura 34b). Obteve-se uma peça com um peso 88 % mais leve do que a anterior, atingindo uma melhoria considerável em relação ao peso. Não é possível comparar diretamente os dois componentes já que, devido as exigências da norma

da SAE, a proteção da CVT deve possuir uma proteção de aço na parte interior, por segurança em caso de que ela quebre.

A peça fabricada possui uma espessura de aproximadamente 1 mm (o que equivale a 3 camadas de tecido). Para atingir 3,048 mm (que exige a normativa SAE) seriam necessárias mais 6 camadas de tecido. Devido ao custo do material tomou-se a decisão de fabricar um anel em aço para instalar na peça de fibra. Este anel será colocado dentro da peça de CFRP e o peso final da proteção aumentará, mas este aumento estará ainda longe do peso da peça anterior feita inteiramente em aço.




Figura 6. Ambas as proteções da CVT em fibra de carbono (a) e em aço (b) pesadas na mesma balança

Além da redução no peso da peça, a mesma tem que cumprir as funções de proteger o câmbio do exterior quando o veículo roda a máxima velocidade e não permitir que a temperatura no interior atinja valores altos. Foram efetuadas várias medidas da temperatura do interior da caixa utilizando um termômetro laser com o veículo rodando a ritmo alto e os resultados foram satisfatórios, com nenhuma das medidas mostrando temperaturas excessivas. A média destes valores está apresentada na Tabela 1, junto com a medida de temperatura com a peça de aço. Este valor foi obtido do Relatório Técnico da equipe.

| Temperatura interna (°C) | |
|---|---|
| Aço | Polímero reforçado com fibra de carbono |
| 50,4 | 51,3 |

Tabela 1. Temperatura interna da CVT, com proteção de aço versus proteção de CFRP.

Depois destas medições a peça de carbono foi removida para uma inspeção visual da parte externa (Figura 7a) e interna (Figura7 b). Verificou-se que a peça não sofreu deterioração estrutural na parte interna ou na parte externa ou nenhum outro tipo de deterioração devido a temperatura.




Figura 7. Inspeção visual da proteção da CVT após teste de 2 horas a máximo rendimento.

Uma inspeção mais detalhada mostrou uma pequena falha da resina no furo onde é acoplado o eixo do motor (Figura 8). A causa da falha foi devido a uma arruela acoplada ao eixo do motor onde a mesma provocou uma fricção constante a alta temperatura na resina.

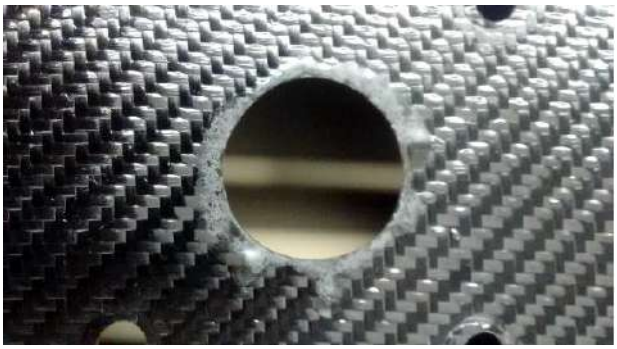


Figura 8. Detalhe da degradação na resina por fricção constante a alta temperatura.

## 4. CONCLUSÕES

Foi realizado um estudo das características e processos de fabricação dos materiais compósitos que resultam na mistura de fibras de carbono com matrizes poliméricas, decidiu-se que o polímero reforçado com fibra de carbono (*CFRP*) seria o mais apropriado para ajudar ao projeto Baja SAE, então foi determinado que a proteção da CVT seria o componente a se fabricar em CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer).*

Em um veículo de competição como o Baja, busca-se sempre melhorar o rendimento, e a melhor maneira de se atingir isto, é reduzir o peso do veículo. O veículo baja é um protótipo simples, de aproximadamente 175 quilogramas onde todos os componentes são funcionais ou exigidos pela regra da SAE. Por este motivo a redução de peso se torna algo crítico, onde é necessário realizar essa redução de maneira progressiva, sabendo que um maior resultado de redução não vai ser possível de se atingir alterando um componente só, ou seja, é necessário reduzir o peso de diversos componentes do veículo.

Neste projeto foi trabalhado com apenas um componente do veículo, o qual foi considerado com maior potencial de redução de peso em combinação com um menor custo de fabricação. O anel protetor fabricado em aço pesou 850 gramas, assim a peça obteve um peso final de 1108 gramas reduzindo o peso total do componente em 51,19 % se comparado com o anterior, cumprindo as mesmas funções.

## 5. REFERÊNCIAS

CHUNG, DEBORAH D. L. *Carbon fiber composites*. Butterworth-Heinemann, Newton, MA, 1994.

Federal Aviation Administration *Aviation Technician Maintenance Handbook Vol. 2, Cap 7.* Disponível em: <http://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/ama_ch07.pdf> Acesso em: Mai. 2016.

MORGAN, P. *Carbon fibers and their composites.* Taylor & Francis Group, NW, FL, 2005.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# INFLUÊNCIA DO CORTE LASER EM AÇOS 22MNB5 ENDURECIDOS

**Giancarlo Stefani Schleder**
**Giliarde Alves**
**Marcos Antonio Kercher**
**Jonas Rafael Reiter**
**Charles Leonardo Israel**
**Willian Haupt**
**Diego Tolotti De Almeida**
**Luiz Eduardo da Silva**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
12610@upf.br; gilliardealves@hotmail.com; kercher34@hotmail.com; 175577@upf.br; israel@upf.br; williamhaupt@upf.br; diegot@bruning.com.br; lsilva.eng@gmail.com

***Resumo.*** *Com objetivo de analisar o aporte térmico do corte a Laser, em aços de alta liga 22MnB5 submetidos a ação de conformação seguido de têmpera na própria matriz. Os componentes produzidos usando o processo de endurecimento por prensagem direta são austenitizados e depois disso, o material é transferido para a prensa para fazer conformação a quente. A transformação da fase martensítica nestas condições conduz à resistência à tração para cerca de 1500 MPa. Neste estudo, analisou-se a influência da potência do corte a laser em aço 22MnB5 no perfil da área de corte e zona termicamente afetada (ZTA) e seus impactos durante a passagem do feixe de laser em diferentes pontos com faixas de potência. Buscou-se qual o menor aporte térmico do laser, consequentemente a redução da ZTA. A reprodutibilidade dos parâmetros foi garantida por ensaios de microdureza e avaliação macro e microestrutural dos corpos de prova. O processo de corte foi realizado em corpos de prova com diferentes faixas de potência, assim determinou-se qual a melhor combinação a ser utilizada. O perfil de microdureza apresentou uma pequena variação entre as potências de corte a ZTA foi avaliada para cada aporte térmico e microdureza onde foi constatado uma queda de dureza.*

***Palavras Chave:*** *Aços de alta liga; 22MnB5; Conformação a Quente; Tempera; Martensita; Microdureza.*

## 1. INTRODUÇÃO

As crescentes demandas para reduzir o consumo de combustível e reduzir a exaustão de emissões em veículos, garantindo a segurança dos passageiros levou ao uso de peças estampadas de alta resistência em carrocerias, os aços alta liga estão se tornando cada vez mais requisitados nos projetos de engenharia em virtude dessas características (Åkerström, 2006). Estas, quando combinadas podem ser aplicadas a diferentes comportamentos de deformações, temperabilidade, usinabilidade e soldabilidade.

Os componentes produzidos usando o processo de endurecimento por prensagem direta são primeiro austenitizados em torno de 900 a 950 ° C por 3 a 10 minutos (Fan et al., 2009). Depois disso, o material é transferido rapidamente para a prensa em que é posteriormente prensado a quente. A transformação da fase martensítica conduz à resistência à tração alta de cerca de 1500 MPa.

O processo de Estampagem a quente com o aço 22MnB5, onde, na própria matriz após a estampagem se produz resfriamento rápido em determinados pontos da peça para elevar a resistência a tração, formando uma faixa de elevada dureza e resistência, por exemplo um chassis de um automóvel possa suportar impacto deformando parte da estrutura não temperada e mantendo a chamada célula de sobrevivência intacta e temperada.

Neste estudo, foram analisados a influência da potência do corte a laser em aço 22MnB5 no perfil da área de corte, inclusive a zona termicamente afetada (ZTA) e seus impactos durante a passagem do feixe de laser em diferentes pontos com faixas de potência de corte de 2,0, 2,5 e 3,0 kW. Considerando que este material possui em sua microestrutura grão predominantemente martensítica, buscou-se qual o menor aporte térmico do laser, consequentemente a redução da zona termicamente afetada (ZTA).

A reprodutibilidade dos parâmetros foi garantida por ensaios de microdureza e avaliação macro e microestrutural dos corpos de prova. O processo de corte foi realizado em corpos de prova com diferentes faixas de potência, sendo possível determinar qual a melhor combinação a ser utilizada. O perfil de microdureza apresentou uma pequena variação entre as potências de corte a ZTA foi avaliada para cada aporte térmico e microdureza onde foi constatado uma queda de dureza

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Propriedades do material recebido

Os materiais de teste do estudo foram produzidos comercialmente como aços endurecíveis, aço com liga de boro foi recebido com conformação a quente e com resfriamento direto. As amostras foram recebidas em Chapas de aço de 4,5 mm de espessura conforme Figura 1. Propriedades iniciais e composições químicas dos materiais da amostra são apresentados na Tabela 1.

### 2.2 Composição Química

A especificação química do material fornecida pela análise química da amostra, obtida através de verificação por espectrômetro de massas modelo FOUNDRY-MASTER Xline Potência 600 VA estão expressos na tabela 1.

**Tabela 1:** Composição química do aço 22MnB5 em estudo (% em peso)

| Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W | Pb | Sn | B | Ca |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 97,4 | 0,256 | 0,278 | 1,39 | 0,0233 | 0,0129 | 0,233 | 0,0058 | 0,0614 | 0,0528 | 0,0135 | 0,0206 | 0,0145 | 0,044 | 0,0157 | 0,0416 | 0,0144 | 0,0087 | 0,0034 | 0,002 |

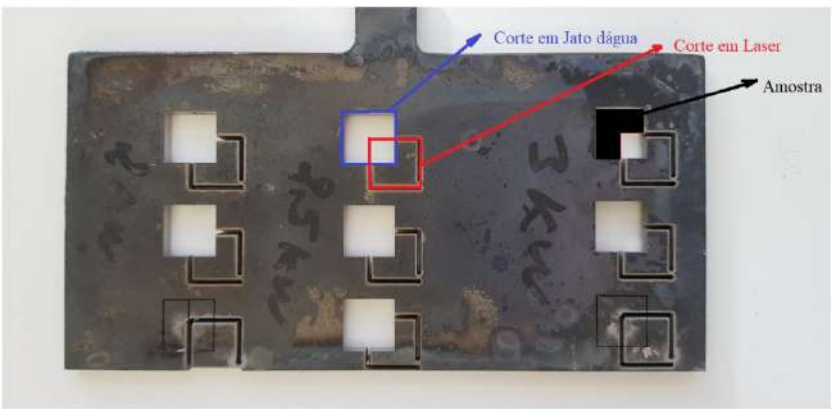
**Fonte:** O autor (2019)

### 2.3 Processo

Foram analisados a influência da potência do corte a laser em aço 22MnB5 no perfil da área de corte, inclusive a zona termicamente afetada (ZTA) e seus impactos durante a passagem do feixe de laser em diferentes pontos com faixas de potência de corte de 2,0, 2,5 e 3,0 kW. Considerando que este material possui em sua microestrutura grão predominantemente encruados, buscou-se qual o menor aporte térmico do laser, consequentemente a redução da zona termicamente afetada (ZTA), a fim de determinar a melhor integridade estrutural do material.

Os cortes foram executados por jato d'água em uma interface e por laser em outra para não ter aporte térmico no metal base. A máquina de Corte a laser foi a TruLaser Cell 8030 TRUMPF Laser Fibra 3000 watts, com velocidade de corte para as 3 situações de 3000 mm/min, corte com gás nitrogênio.

**Figura 1.** Chapa 22MnB5 com corte a laser. Fonte: UPF, 2019.



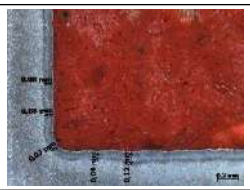
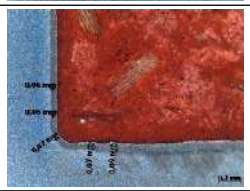
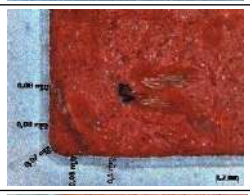
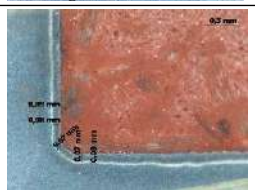
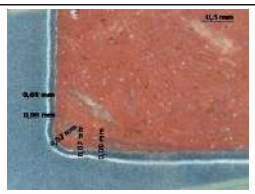
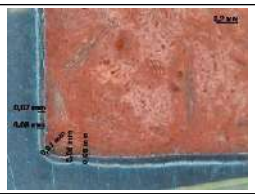

**Fonte:** O autor (2019)

2.4 Análise da Microestrutura:

Os Materiais analisados foram atacados quimicamente com Nital a 2% por 10 Segundos, após, foi realizada a Macroscopia no Estereomicroscópio com ampliação de 50X, foi medido o distanciamento da face de corte até o fim do aporte térmico, posteriormente, realizado microscopia óptica no Microscópio Zeiss com ampliação de 200, 500 e 1000X (figura 2) e Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Tescan da marca Zeiss, com ampliação de 4000 e 15000X (figura 3).

O equipamento utilizado para o ensaio de microdureza foi um Microdurômetro Shimadzu Modelo HMV-G20ST. A microdureza foi medida na escala Vickers ao longo do corpo de prova. Com uma carga de 0,25 kgf, e distância de 0,03 mm para a primeira endentação e após 0,05 mm de deslocamento, abrangendo a região de corte, transição da zona afetada termicamente e metal base, para comparação da microdureza nestas fases.

**Figura 2.** Análise do material 22MnB5 em função de corte a laser.

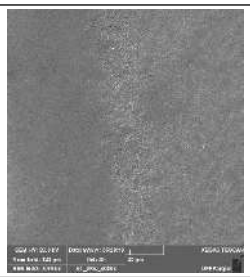
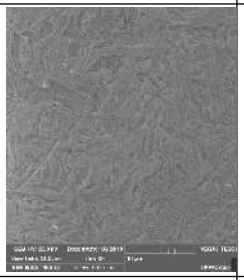
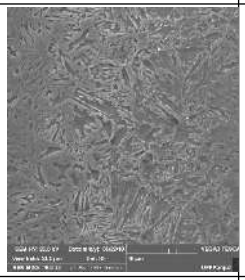
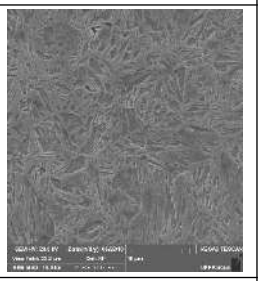
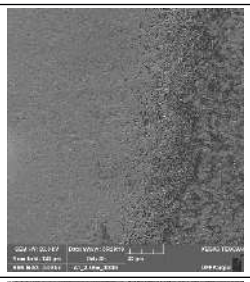
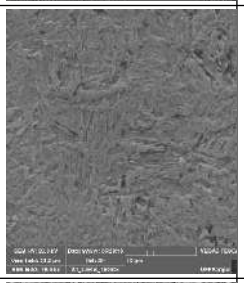
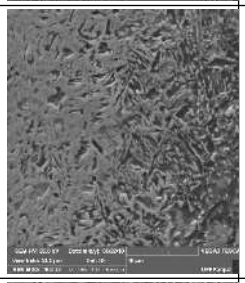
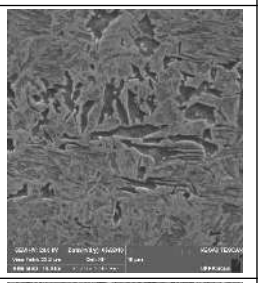
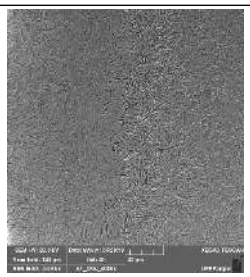
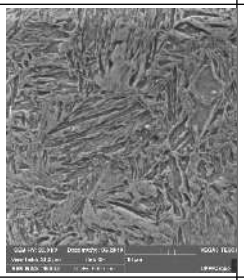
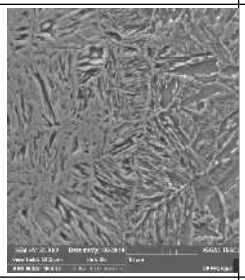
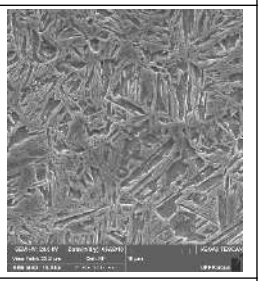
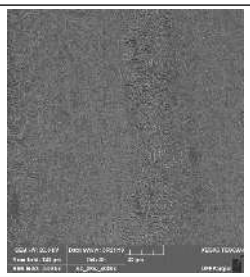
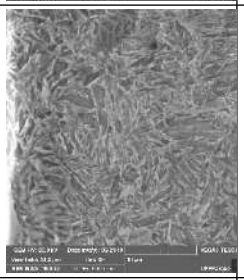
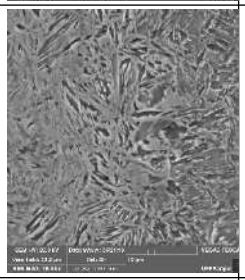
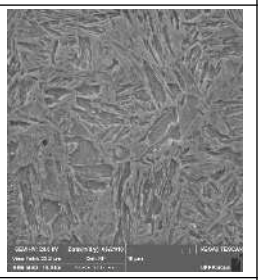
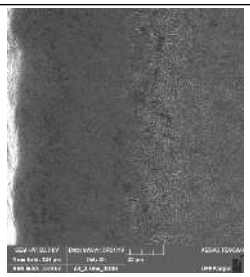
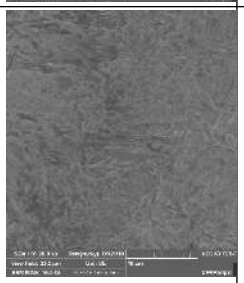
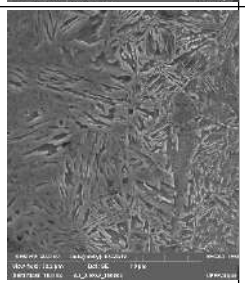
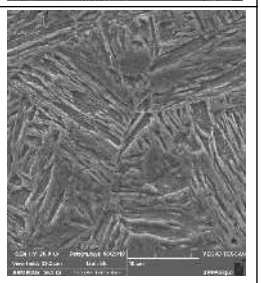
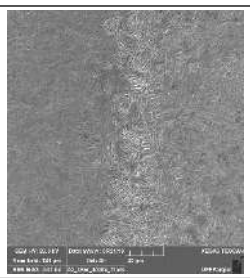
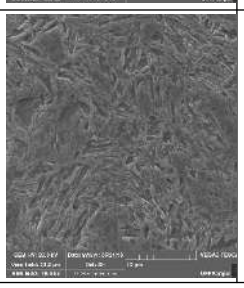
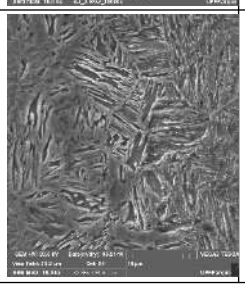
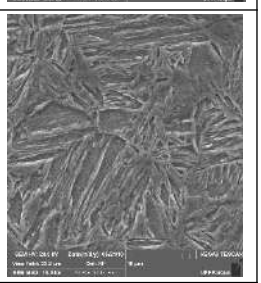
| Amostras/ Ampliação | Macrografia 50x | Micrografia 200x | Micrografia 500x | Micrografia 1000x |
|---|---|---|---|---|
| A1 - 2 kW |  |  |  |  |
| A1 - 2,5 kW |  |  |  |  |
| A1 - 3 kW |  |  |  |  |
| A3 - 2 kW |  |  |  |  |
| A3 - 2,5 kW |  |  |  |  |
| A3 - 3 kW |  |  |  |  |

**Fonte:** O autor (2019)

Na figura 2 que foram obtidas pelo MEV, com ampliação de 4000 e 15000X, onde as letras indicam início da ZAC, transição e Material Base:

I – Início; T – Transição e B - Base.

**Figura 3.** Análise do material 22MnB5 em função de corte a laser.

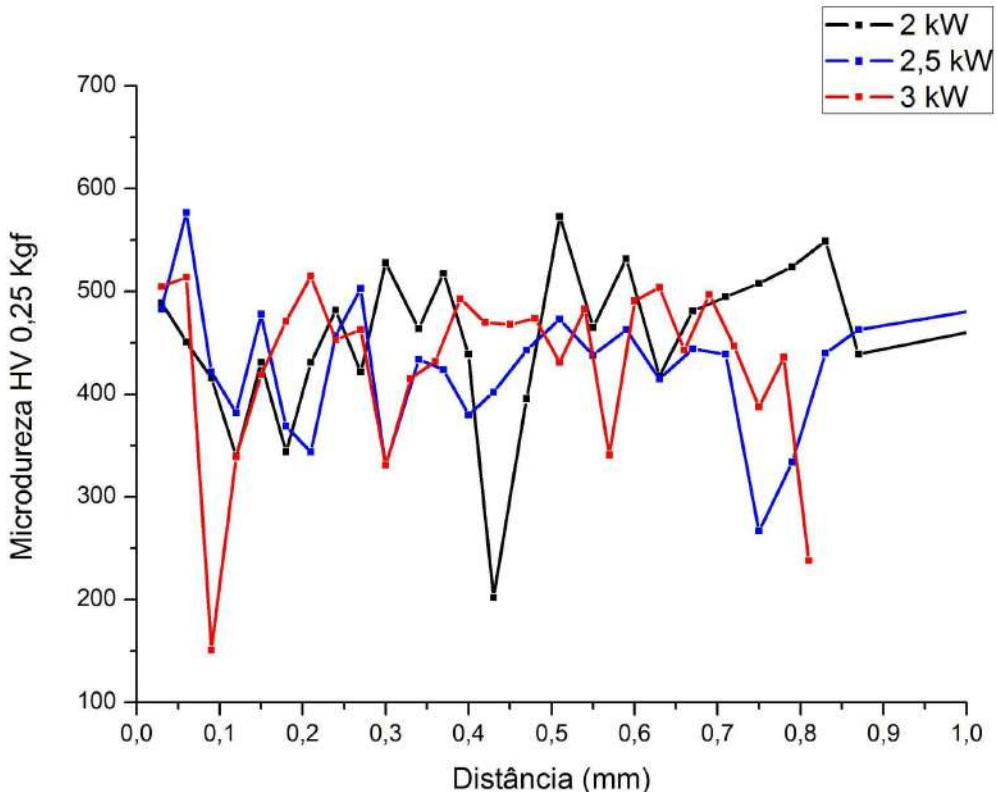
| Amostras/ Ampliação | MEV (I/T/B) 4000x | MEV (I) 15000x | MEV (T) 15000x | MEV (B) 15000x |
|---|---|---|---|---|
| A1 - 2 kW |  |  |  |  |
| A1 - 2,5 kW |  |  |  |  |
| A1 - 3 kW |  |  |  |  |
| A3 - 2 kW |  |  |  |  |
| A3 - 2,5 kW |  |  |  |  |
| A3 - 3 kW |  |  |  |  |

**Fonte:** O autor (2019)

2.5 Análise de resultados

O ensaio de microdureza foi medida na escala Vickers ao longo do corpo de prova à distância de 0,03 mm para a primeira endentação e após 0,05 mm de deslocamento, abrangendo a região de corte, transição da zona afetada termicamente e metal base, para comparação da microdureza, nestas fases apresenta-se o gráfico em curvas no gráfico 1, onde pode-se observar a fragilidade do material entre 0,05 mm e 0,1 mm. Tendo alguns pontos de menor dureza característico do material analisado. Por se tratar de microdureza ocorre estes desvios de dureza devido a endentação poder atingir somente a Ferrita ou algum precipitado de Carboneto de Ferro.

**Gráfico 1.** Análise de microdureza em função de corte a laser a 2, 2,5 e 3 kW

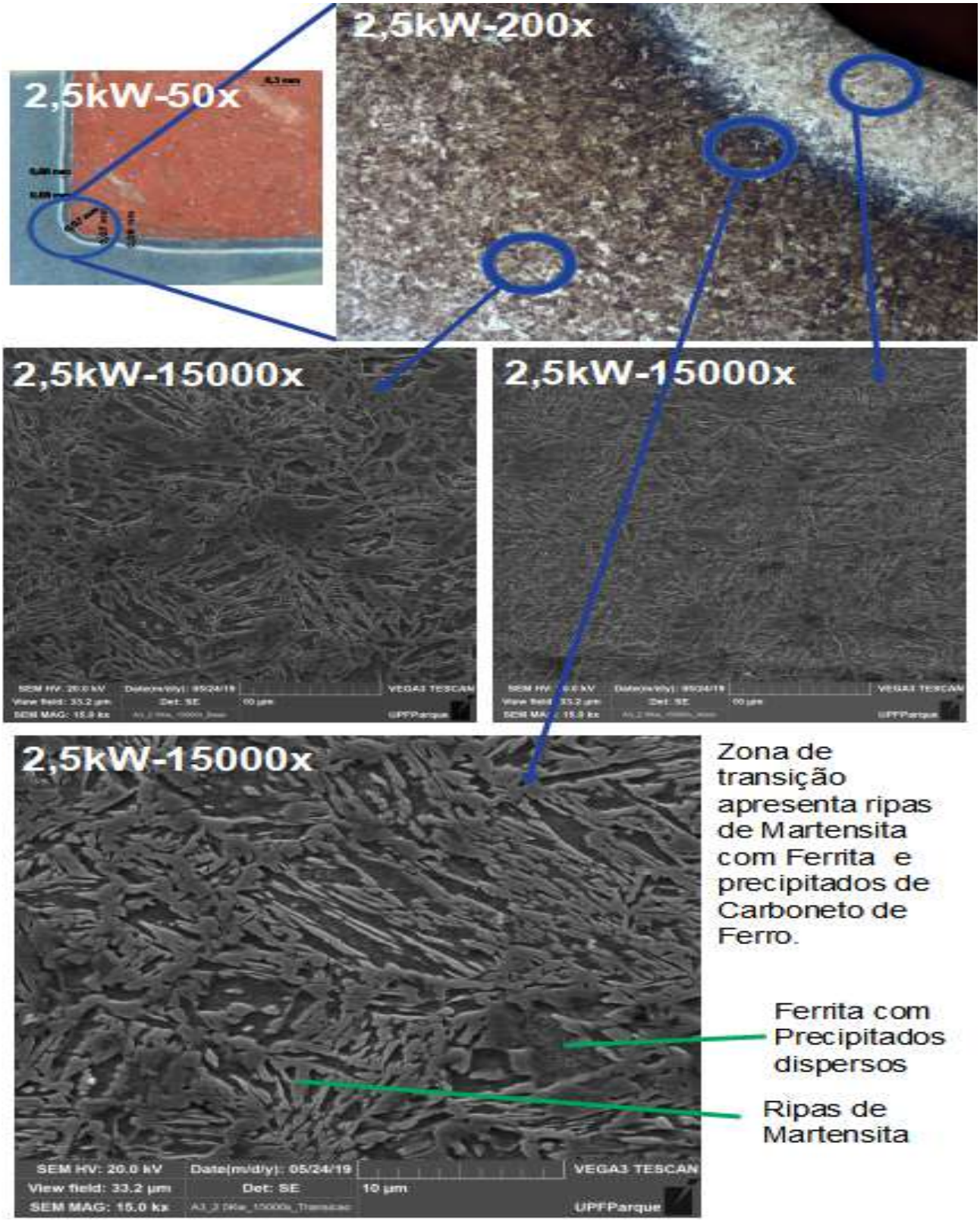



**Fonte:** O autor (2019)

Após análise dos dados verificou-se a macrografia, micrografia e imagem do MEV do início, transição e metal base do corte com 2.5KW, onde observa-se a zona afetada pelo calor com dimensões de 0,07 mm da borda de início do corte, exatamente onde as microdurezas apresentam em todas as situações de corte uma queda de dureza, provavelmente ocasionada pelo resfriamento mais lento.

Com base no estudo de Järvinena (2018), onde, o mesmo estudou o Efeito do tratamento de secagem de tinta nas propriedades do aço ao boro endurecido por prensagem, pode-se avaliar as características do material de mesma forma Colpaert (2008, pág. 244), apresentam como característica no metal de transição Carbonetos de ferro e Martensita em forma de ripas.

**Figura 4.** Análise da ZAC do corte a laser 2,5KW.




**Fonte:** O autor (2019)

## 3. CONCLUSÕES

Com base na variação de potência da máquina de corte a Laser e no aporte térmico gerado, conclui-se que a potência que gerou menor mudança microestrutural e por consequência, menores mudanças nas propriedades do material 22MgB5 foi a potência de 2,5KW, onde, nas análises de resultados de endentação de microdureza resultou uma curva de dureza mais branda com menor variância, mantendo as propriedades do material mais próximas do material base, tendo na ZTA uma formação de martensita em forma de Ripas e precipitados de Carbonetos de Ferro.

Em relação a futuros estudos pode-se variar a potência de corte com a velocidade de corte na máquina de Corte A Laser, verificando e abrangendo assim maiores resultados e dados para análise, podendo até chegar a um ponto ótimo para corte do Aço 22MnB5.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 Åkerström, P., 2006. Modeling and simulation of hot stamping. Doctoral Theses, Luleå University of Technology, Sweden.

2 Colpaert, H., Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, 4a Edição by Andre Luiz V. da Costa e Silva, 2008, Published by Edgard Blucher in São Paulo, SP, Brasil .

3 Fan, D., Kim, H., De Cooman, B., 2009. A review of the physical metallurgy related to the hot press forming of advanced high strength steel. Steel Res. Int. 80, 241–248.

4 Järvinena, H., Honkanena, M., Järvenpääb, M.,2018. Effect of paint baking treatment on the properties of press hardened boron steels, Pasi Peuraa a Laboratory of Materials Science, Tampere University of Technology, P.O. Box 589, FI-33101 Tampere, Finlandb SSAB Europe Oy, Harvialantie 420, FI-13300, Hämeenlinna, Finland.

## 1. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO E ANÁLISE COMPARATIVA DE DESGASTE ABRASIVO EM PONTEIRAS SULCADORAS

**Guilherme Brazaca**
**Charles Leonardo Israel**
**Márcio Walber**
Av. Brasil Leste, 285 - São José, Passo Fundo - RS, 99052-900
guilhermebrazaca@hotmail.com, israel@upf.br

**Resumo:** *Durante os ciclos de cultura, o agricultor acaba por adentrar diversas vezes na lavoura com maquinários pesados, causando a compactação do solo, o que acarreta diversos malefícios ao solo, tais como a falta de infiltração de água e nutrientes para o crescimento das plantas, erosões e o aumento da demanda energética (aumento de consumo de combustível) por parte dos maquinários durante novos ciclos de cultivo. Para coibir os efeitos da compactação utiliza-se escarificadores, que são implementos de preparo do solo. Os mesmos apresentam hastes que promovem o cisalhamento do solo compactado sem que haja perda da matéria orgânica viva, fundamental no sistema plantio direto. O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um dispositivo, assim como análise dos dados coletados com uso do mesmo, para obtenção de dados de perda de massa por desgaste abrasivo em órgãos ativos no processo de escarificação em três diferentes materiais, o Ferro Fundido Nodular GGG50, o Ferro Fundido Nodular GGG50 Temperado e Revenido e o Ferro Fundido Nodular GGG70. A partir do trabalho desenvolvido, de determinará a melhor opção de material para a fabricação da peça de reposição com base em sua resistência abrasiva.*

*Palavras chave: Solo, Compactação, Plantio Direto.*

## 1. INTRODUÇÃO

O desgaste de órgão ativo de máquina e implemento agrícola de preparo do solo, tem sido alvo de vários estudos pela comunidade científica que relaciona tal ocorrência com o desempenho operacional, material e técnica de fabricação. Esse desgaste ocorre independentemente do tipo de manejo de solo, porém, determinadas práticas podem potencializa-lo a ponto de comprometer as condições desejadas de implementação de uma cultura em virtude da modificação e geometria da extremidade de corte. O órgão ativo, quando comprometido, aumenta a força de tração e consequentemente o consumo de combustível. Diversas variáveis podem influenciar o desgaste, entre as quais se destacam a velocidade, teor de água no solo, material de fabricação e seu tratamento térmico (TREVISAN, 2007). Para efetuar a determinação do melhor ferro fundido no emprego do componente órgão ativo ao processo de escarificação, será realizada a análise comparativa entre três materiais diferentes, o Ferro Fundido Nodular GGG50, o Ferro Fundido Nodular GGG50 Temperado e o Ferro Fundido Nodular GGG70. A determinação da melhor opção para o componente é dada a partir dos resultados obtidos pela comparação da perda de massa e escaneamento da superfície atacada em função da abrasão nos testes, sendo que para isso é utilizando o dispositivo de análise de desgaste abrasivo projeto e fabricado exclusivamente para essa finalidade. Tendo em vista a diferença entre solos no território nacional, variando desde Franco-Argilosos (região de Passo Fundo) até solos Arenosos (Serrado Brasileiro), que apresenta maiores índices de desgaste abrasivo, deve-se considerar a pior hipótese. Além da necessidade de um componente resistivo ao desgaste abrasivo, a escarificação aplica-se principalmente em solos onde, na região sul do Brasil, por exemplo, há ciclos de cultura de plantio-direto a mais de três décadas, o que os torna compactados e, a baixo dessa região superficial compactada (pé-de-grade), comumente há rochas acarretando fratura de materiais frágeis. Haja vista que esses procedimentos levam a danos no mecanismo, deve-se optar por um material no qual se consiga aliar a resistência abrasiva à resistência mecânica, isso justifica a escolha dos materiais para estudo e aplicação ao componente. Segundo Machado (1996), entre as diversas formas de desgaste, a principal, encontrada na operação de mobilização do solo, é o desgaste por abrasão, que se constitui na remoção do material da ferramenta devido ao atrito com as partículas do solo. Com o trabalho aqui presente, a partir do projeto, fabricação e coleta de dados de um dispositivo de análise comparativa de desgaste abrasivo, se determinou a melhor opção de material, correlacionando vida útil, desgaste abrasivo e custo de matéria prima e tratamento término (caso do componente temperado), para ponteiras sulcadoras.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para resolver a problemática e determinar o melhor material para fabricação do componente, foram selecionados 3 materiais de uso comum na indústria que apresentam desempenho compatível com o solicitado pelo processo de escarificação e baixo custo de fabricação. Para coloca-los à prova, se desenvolveu o dispositivo de análise comparativa de desagaste abrasivo e em seguida foram realizadas medições de perda de massa e escaneamento da superfície atacada pelo desgaste abrasivo.

### 2.1 Seleção dos Materiais

Tendo em vista que o componente deve atender os três quesitos já mencionados, a resistência mecânica, a resistência à abrasão e o baixo custo de fabricação, dentro da indústria a escolha tradicional parte para o lado dos ferros fundidos nodulares.

Uma vez que o ferro fundido nodular GGG50, é um dos material mais comumente utilizado no mercado e atualmente já utilizado para fabricação dos componentes, o mesmo tem um ganho significativo de dureza se aplicado tratamento térmico, e tendo em vista que a dureza está diretamente ligada à resistência ao desgaste abrasivo, se torna muito atrativo como material escolhido.

No entanto, assim como o ferro fundido GGG50 temperado, em relação ao GGG50 sem tratamento térmico, o ferro fundido GGG70 também apresenta maior dureza sem acréscimo do tratamento térmico. Isso se dá ao fato prioritariamente de que em sua composição apresentarem-se concentração mais elevadas de determinados elementos de liga, tal qual o Mn e Cu.

Na Figura 1 é deparado os custos de obtenção dos componentes.

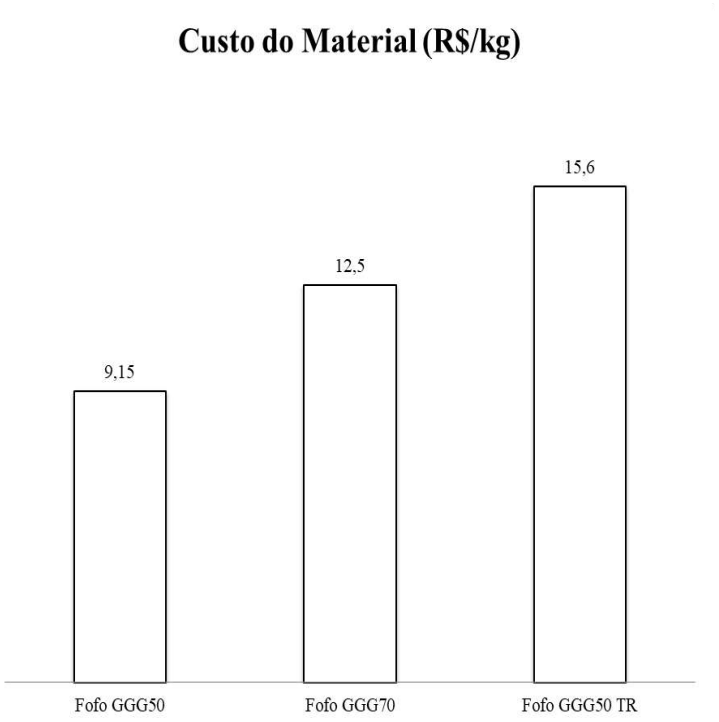



Figura 1 - Custo do Material (R$/kg)

### 2.2 Fabricação dos Corpos de Prova

Para realização da análise comparativa, além do componente atualmente fabricado fofo GGG50 pela fundição Usifundi de Ibirubá, RS, disponibilizou amostras do componente fundido em Fofo GGG70. Para obtenção dos corpos de prova em Fofo GGG50 TR, foram enviadas as peças padrão, Fofo GGG50, à APQR Engenharia de Passo Fundo. A Figura 2 apresenta uma imagem isométrica obtida a partir de ferramenta de renderização do software de modelamento 3D, mesmo utilizado para projeto do componente, para se realizar posteriormente uma comparação visual dos efeitos de desgaste abrasivo sobre a superfície do componente.



Figura 2 – Imagem Isométrica do corpo de prova

### 2.3 Projeto e Fabricação do Dispositivo

Foi fabricado um dispositivo em forma circular, onde foram afixados os três corpos de prova na disposição angular de 120º entre si. A Figura 3 destaca os componentes principais do dispositivo projetado utilizando o software de modelamento 3D, sendo que o componente em análise, a ponteira sulcadora, foi previamente fornecida pela empresa beneficiada pelo estudo.

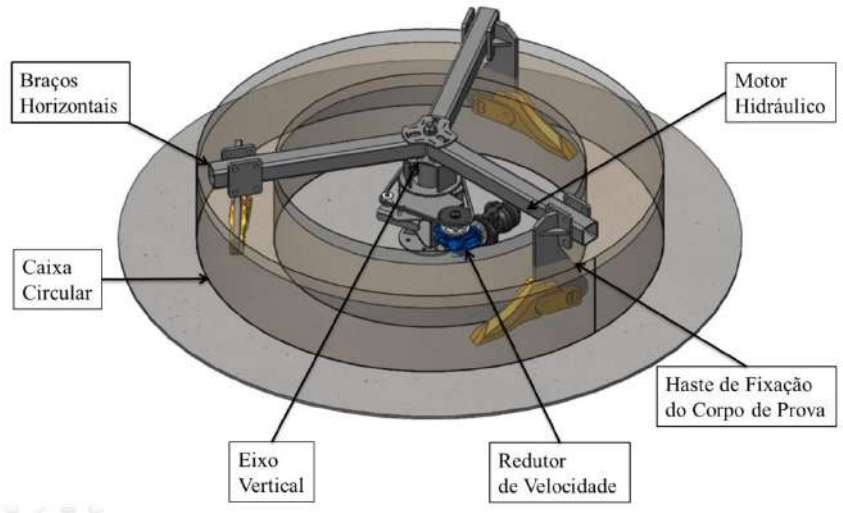



Figura 3 - Projeto do dispositivo

O sistema de acionamento é composto por um motor hidráulico M+S hydraulics, modelo MLHP 125, com potência máxima em regime contínuo de 13,9 cv, torque no eixo de 237,3 N.m, rotação de 486 RPM a uma vazão de 2,062 mm³/s, mangueiras hidráulicas 3/8” de duas tramas de aço (R2AT) e uma bancada hidráulica de uso geral da empresa.

O sistema de transmissão é composto por um redutor de velocidade Cestari, modelo K 80, redução 1:15, engrenagens (acionamento z=30 e acionada z=50), corrente do tipo ASA 50 dupla com esticador por parafuso e sistema de acoplamento flexível entre motor e redutor por engrenagens e corrente ASA 40.

Os braços horizontais, que tem a finalidade de fixar as hastes, que por sua vez é onde as ponteiras são fixadas, apresentam defasagem angular de 120º entre si e atuam em um raio de 0,75m dentro da caixa circular. A velocidade tangencial, isto é, a velocidade na ponta do braço horizontal que representa a velocidade de deslocamento do escarificador, é de 1,5 m/s (aproximadamente 5,5km/h, ideal para plantio direto).

Para o dimensionamento do dispositivo, foram utilizados componentes já existentes em estoque; dessa forma, o motor e o redutor de velocidade não são variáveis de projeto. Para obter a correta velocidade angular e o força de arrasto adequada para acionamento, a compensação de rotação e o torque foram dimensionados na relação de transmissão.

## 2.4 Medição da Perda de Massa

A Figura 4 apresenta procedimento de medição da massa das ponteiras. Foi utilizada uma balança, marca Toledo, modelo 9094, com faixa de medição de 6 a 15 kg, sendo que as medições ocorreram aproximadamente em intervalos de 50 horas, avaliando a perda de massa dos três componentes analisados.




Figura 4 - Medição da perda de massa

## 2.5 Escaneamento da Superficie

Foi efetuada, ao fim das 150 horas de experimento no dispositivo de desagaste, um escaneamento para cada componente de diferente material, com a finalidade de determinar pontos de maior impacto em quesitos de desgaste no componente. O aparelho utilizado foi um handyscan 3d, Creaform, com 0,4mm resolução do obturador e 0,6 ms, (Figura 5).



Figura 5 - Escaneamento da superfície

## 3. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes à coleta de dados de perda de massa dos três corpos de prova e a sobreposição da medição dos componentes desgastados ao de projeto.

### 3.1 Dispositivo de Análise de Desgaste Abrasivo

Obedecendo as etapas do procedimento de trabalho, sendo elas: acionamento do dispositivo, retirada dos corpos de prova, lavagem, medição da massa e remontagem; e operando em turnos de 8 horas diárias durante os 5 dias semanais de jornada de trabalho da empresa, o dispositivo foi capaz de realizar os testes quase ininterruptamente durante as aproximadamente 4 semanas que levaram para determinar os resultados supostos no trabalho. Na Figura 6 é apresentada uma imagem do dispositivo finalizado, que é comparativa a Figura 3, imagem do projeto.




Figura 6 - Dispositivo operacional

### 3.2 Medição de Perda de Massa

Os resultados de perda de massa apontam que o ferro fundido nodular GGG50 temperado apresentou aproximadamente 10% da perda de massa do mesmo material sem tempera. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos nas medições realizadas, com margem de erro de ±2,5g.

Tabela 1 - Resultados de medições

| **Material** | **Massa (kg)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0h | 50h | 100h | 150h | (%) |
| **Fofo GGG50** | 9,055 | 8,835 | 8,46 | 8,25 | 8,89 |
| **Fofo GGG70** | 8,78 | 8,675 | 8,51 | 8,405 | 4,27 |
| **Fofo GGG50 TR** | 8,995 | 8,955 | 8,935 | 8,905 | 1 |

A Tabela 2 apresenta os valores de perda de massa.

Tabela 2 - Perda de massa (g/h)

| **Material** | **Desgaste (g)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **0h** | **50h** | **100h** | **150h** |
| **Fofo GGG50** | 0 | 220 | 595 | 805 |
| **Fofo GGG70** | 0 | 105 | 270 | 375 |
| **Fofo GGG50 TR** | 0 | 40 | 60 | 90 |

A figura 7 apresenta as curvas de desgaste acumulado dos três ferros fundidos avaliados.

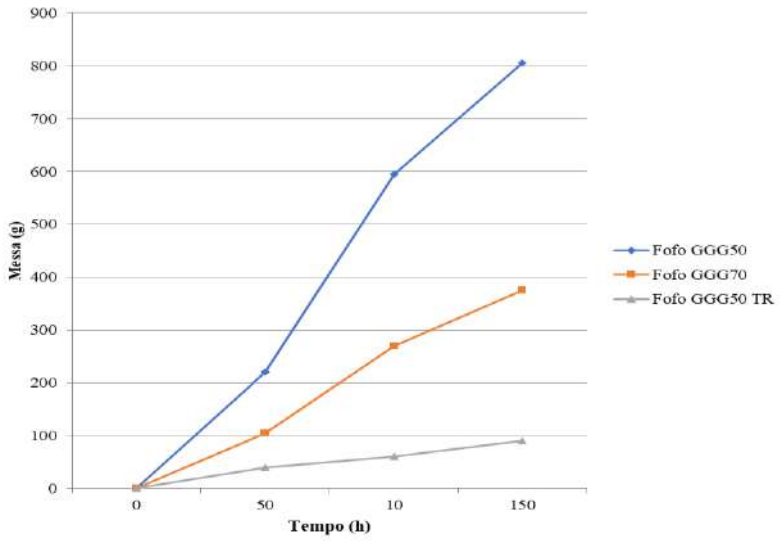



Figura 7 - Perda de massa

### 3.3 Medição da Superfície

As Figuras 8 A, B e C apresentam respectivamente a ponteira fabricada em fofo nodular GGG50, GGG70 e GGG50 T.R. após as 150 horas de experimento.




Figura 8 - Ponteiras após 150h

A Figura 9 apresenta exemplos dos resultados dos escaneamentos após exportação dos arquivos em formato IGS e importação para o software de modelamento 3D.

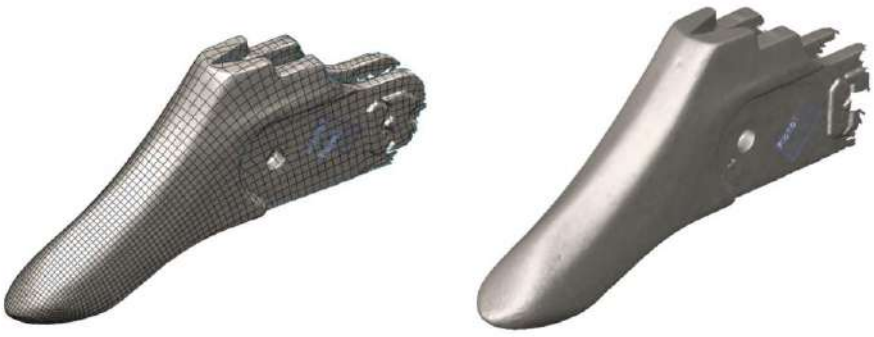


Figura 9 - Arquivo de exportação

A partir dos resultados dos escaneamentos, é possível efetuar a sobreposição dos arquivos de superfície gerados com o arquivo original do componente, apontando assim os pontos onde há perdas de massa na geometria. Para exemplificar a análise trascnorrida em software, a Figura 10 apresenta uma vista isométrica em detalhe da parte frontal do componente, onde apresenta desgaste mais acentuado.

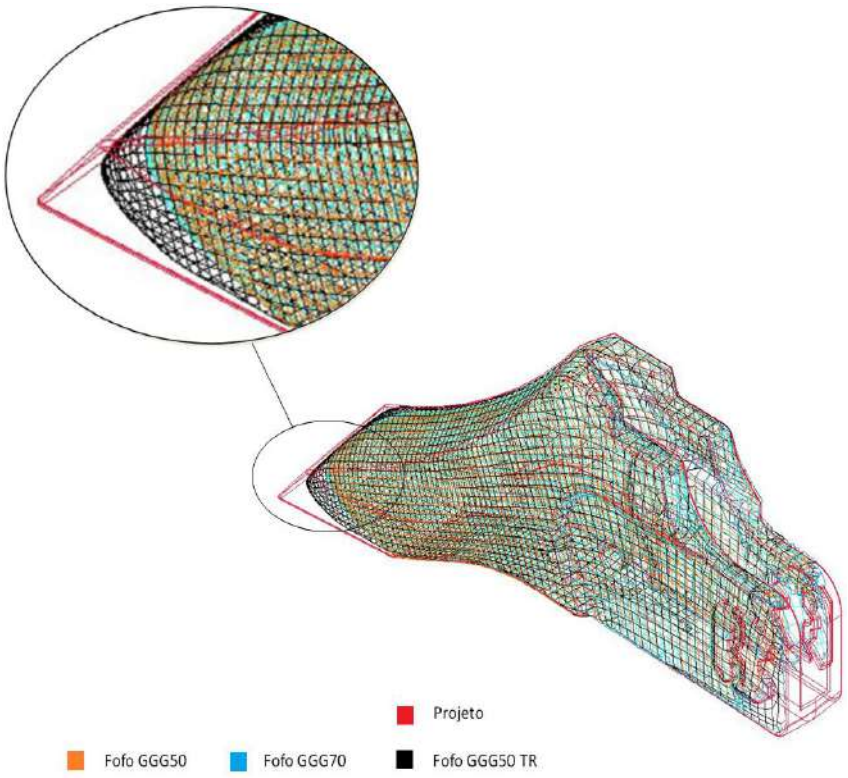



Figura 10 - Vista de detalhe

## 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, é comprovado que a resistência ao desgaste abrasivo é proporcional à dureza do material de fabricação da ponteira sulcadora, uma vez que o material mais duro, o Fofo GGG50 TR apresentou aproximadamente 10% da perda de massa com relação ao mesmo material sem o processo de tempera.

O melhor desempenho final dos ensaios de desgaste abrasivo foi do Fofo GGG50 TR e o pior foi do Fofo GGG50 e mesmo apresentando custo mais elevado, aproximadamente 72,5% com relação ao Fofo GGG50 e 24,8% ao Fofo GGG70, o Fofo GGG50 TR ainda se tem como a melhor opção com relação ao desgaste abrasivo e custo de fabricação, uma vez que o mesmo apresentou aproximadamente 89% e 76% do desgaste a menos que o Fofo GGG50 e o Fofo GGG70 respectivamente.

Por sua vez, a partir do escaneamento da superfície desgastada, foi possível identificar que os pontos de maior desgaste são as arestas formadas pelas faces frontais da ponteira, em contrapartida, as superfícies localizadas mais distantes da ponta do componente apresentaram menos desgaste. Além disso, as superfícies desgastadas dos três ferros fundidos apresentam riscos, o que é indicativo de que o desgaste abrasivo ocorreu sob baixas tensões.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MACHADO, A. L. T.; CHANG, C. S. *Influência da geometria no desempenho de ponteiras aladas de escarificadores.* Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, RS, v.2, n.1, p. 11-16, jan.- abr. 1996.

TREVISAN, C. *Desgaste de órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo: avaliação bibliográfica*. Piracicaba: ESALQ, 2007. 74p. Dissertação Mestrado.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS EM DIFERENTES POTÊNCIAS DE CORTE A LASER DO AÇO 22MGB5+NBMO

Jonas Rafael Reiter
Marcos Antônio Kercher
Giliarde Alves
Giancarlo Stefani Schleder
Charles Israel
William Haupt
Luiz Eduardo da Silva
Diego Tolotti de Almeida

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
jonas@agroworks.ind.br; kercher34@hotmail.com; giancarlo.schleder@gmail.com; lsilva.eng@gmail.com; williamhaupt@upf.br; israel@upf.br; diego@bruning.com.br; giliarde.alves@brf-br.com

***Resumo:*** *Os aços liga estão se tornando cada vez mais requisitados nos projetos de engenharia em virtude das características especiais e peculiares de acordo com sua composição química. Quando combinadas, podem ser aplicadas a diferentes comportamentos de deformações, temperabilidade, usinabilidade e soldabilidade. Aumentando ou diminuindo a propriedade desejada, essa versatilidade permite uma otimização na resistência em diferentes pontos de aplicação e diminuição da massa dos componentes, melhorando a eficiência, diminuição de custos e aumentando a produtividade do equipamento.*
*Para conseguir aliar elevada dureza com uma boa tenacidade, reduzindo a fragilidade e ductilidade para alcançar boa resistência, é necessário a adição de elementos químicos que reduzem o tamanho de grão ou possam retardar a formação de martensita, para essas necessidades, os elementos mais buscados atualmente são o nióbio e molibdênio.*
*Neste estudo, foram analisados as influências da potência do corte a laser em aço 22MgB5+NbMo no perfil da área de corte, inclusive na zona termicamente afetada (ZTA), e seus impactos durante a passagem do feixe de laser em diferentes pontos de acordo com a distância da aresta superior de corte. Considerando que este material possui em sua microestrutura grãos predominantemente encruados, buscou-se analisar as propriedades da microestrura em diferentes potencias de corte, com a variação do aporte térmico e, consequentemente a amplitude longitudinal da zona termicamente afetada (ZTA)*
**Palavras-chave**: *Aço 22MgB5+NbMo; Potência; Laser; Microestrutura*

## 1 INTRODUÇÃO

As crescentes demandas para reduzir o consumo de combustível e reduzir a exaustão de emissões em veículos, garantindo a segurança dos passageiros levou ao uso de peças estampadas de alta resistência em carrocerias. Os aços alta liga estão se tornando cada vez mais requisitados nos projetos de engenharia em virtude dessas características (Åkerström, 2006). Estas, quando combinadas, podem ser aplicadas a diferentes comportamentos de deformações, temperabilidade, usinabilidade e soldabilidade.

Os componentes produzidos usando o processo de endurecimento por prensagem direta são primeiro austenitizados em torno de 900 a 950 ° C por 3 a 10 minutos (Fan et al., 2009). Depois disso, o material é transferido rapidamente para a prensa em que é posteriormente prensado a quente. A transformação da fase martensítica conduz à resistência à tracção alta de cerca de 1500 MPa.

O processo de Estampagem a quente com o aço 22MnB5+NbMo onde na própria matriz após a estampagem se produz resfriamento rápido em determinados pontos da peça para elevar a resistência a tração, formando uma faixa de elevada dureza e resistência onde por exemplo um chassis de um automóvel possa suportar impacto deformando plasticamente a parte da estrutura não temperada e mantendo a chamada célula de sobrevivência intacta e temperada.

Neste estudo, foram analisados a influência da potência do corte a laser em aço 22MnB5+NbMo no perfil da área de corte, inclusive a zona termicamente afetada (ZTA), e seus impactos durante a passagem do feixe de laser em diferentes pontos com faixas de potência de corte de 2,0, 2,5 e 3,0 KW. Considerando que este material possui em sua

microestrutura grão predominantemente martensítico, buscou-se qual o melhor aporte térmico do laser, consequentemente a redução da zona termicamente afetada (ZTA).

A reprodutibilidade dos parâmetros foi garantida por ensaios de microdureza a avaliação macro e micro estrutura dos corpos de prova. O processo de corte foi realizado em corpos de prova com diferentes faixas de potência, porém com a variável velocidade fixa nos três parâmetros, sendo possível assim determinar qual a melhor combinação a ser utilizada. O perfil de microdureza apresentou uma considerável variação entre as potências de corte, a ZTA foi avaliada para cada aporte térmico e microdureza onde foi constatado uma queda de dureza devido a ZTA na medida de 0,07mm onde se constatou uma Zona branca na macroscopia e queda abrupta na escala de microdureza.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Materiais

Os materiais de teste deste estudo foram produzidos comercialmente como aços temperáveis, o aço 22MgB5+NbMo foi recebido com conformação a quente e com resfriamento direto. As amostras foram produzidas em Chapas de aço de 4,5 mm de espessura conforme Figura 1.

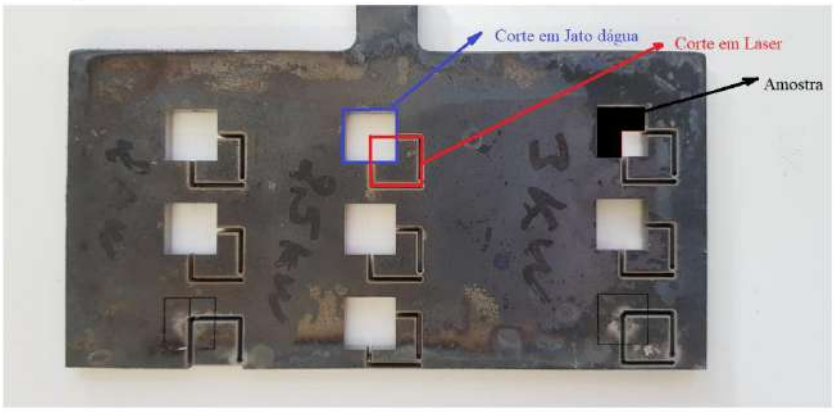



Figura 1. Amostra da peça em material 22MnB5+NbMo

### 2.2 Composição Química

A especificação química do material fornecida pela análise química da amostra, foi obtida através de verificação por espectrômetro de massas modelo FOUNDRY-MASTER Xline Potência 600 VA estão expressos na Tabela 1.

| Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W | Pb | Sn | B | Ca |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 97,4 | 0,256 | 0,278 | 1,39 | 0,0233 | 0,0129 | 0,233 | 0,0058 | 0,0614 | 0,0528 | 0,0135 | 0,0206 | 0,0145 | 0,044 | 0,0157 | 0,0416 | 0,0144 | 0,0087 | 0,0034 | 0,002 |

Tabela 1. Composição química do aço 22MnB5+NbMo (% em peso)

### 2.3 Método

Foram analisados as influências da potência do corte a laser em aço 22MnB5+NbMo no perfil da área de corte, inclusive a zona termicamente afetada (ZTA), e seus impactos durante a passagem do feixe de laser em diferentes pontos com faixas de potência de corte variando de 2,0, 2,5 e 3,0 KW, porém mantendo a velocidade constante para as três potencias. Considerando que este material possui em sua microestrutura grão predominantemente encruado, buscou-se qual o melhor aporte térmico do laser, consequentemente a redução da zona termicamente afetada (ZTA), a fim de determinar a melhor integridade estrutural do material.

Os cortes foram executados por jato d'água em uma interface e por laser em outra face para não ter aporte térmico no metal base. A máquina de Corte a laser foi a TruLaser Cell 8030 TRUMPF Laser Fibra 3000 watts, com velocidade de corte para as 3 situações de 3000 mm/min, no processo de corte a laser, foi utilizado gás nitrogênio.

**2.3 Análise da Microestrutura**

As amostras do material de base foram cortadas e submetidas ao embutimento, seguido de lixamento e polimento. Para revelar a microestrutura, as amostras foram submetidas ao ataque com reativo de Nital 2%, por 10 segundos.Após, foi realizada a Macroscopia no Stereomicroscópio com ampliação de 50X onde foi medido o distanciamento da face de corte até o fim do aporte térmico, posteriormente, realizado microscopia óptica no Microscópio Zeiss com ampliação de 200x, 500x e 1000X demonstrado na figura 2 e Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Tescan da marca Zeiss, com ampliação de 4000 e 15000X ilustrado na figura 3.

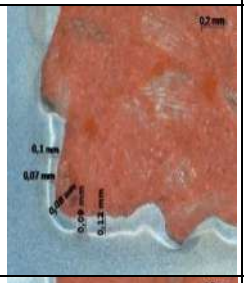
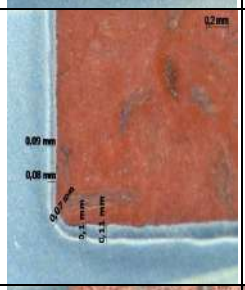
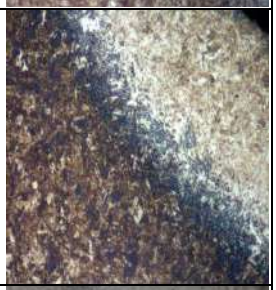
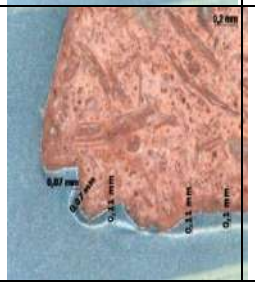
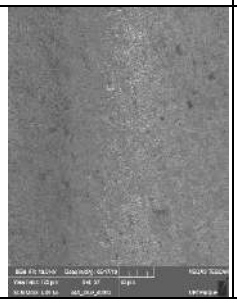
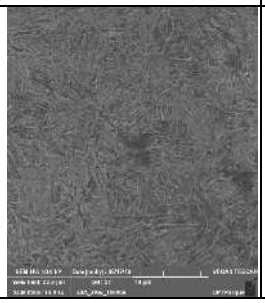
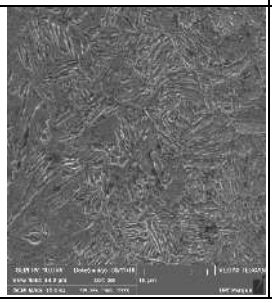
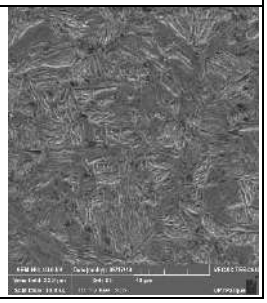
| Potência de Corte | Macrografia | Micrografia 200x | Micrografia 500x | Micrografia 1000x |
|---|---|---|---|---|
| 2Kw |  |  |  |  |
| 2,5Kw |  |  |  |  |
| 3,0Kw |  |  |  |  |

Figura 2. Análise micrográfica das arestas de corte

Abaixo imagens obtidas pelo MEV, com ampliação de 4000 e 15000X figura 3, onde as letras indicam início da ZAC, transição e Material Base: I – Inicio; T – Transição; B – Base.

| Amostra | MEV (I/T/B) 4000x | MEV (I) 15000x | MEV (T) 15000x | MEV (B) 15000x |
|---|---|---|---|---|
| 2Kw |  |  |  |  |

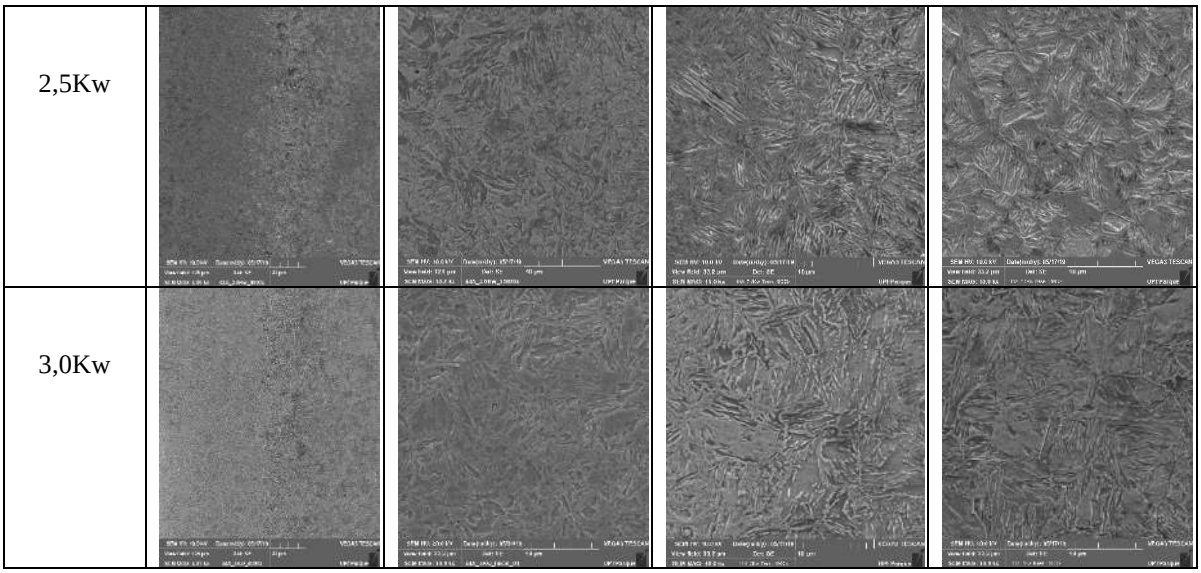



Figura 3. Análise microscópica por varredura(MEV)

O ensaio de micro dureza foi efetuado por um microdurômetro Shimadzu Modelo HMV-G20ST. A micro dureza foi medida na escala vickers ao longo do corpo de prova conforme figura 4. Com uma carga de 0,25 kgf, e distância de 0,03 mm para a primeira indentação e após 0,05mm de deslocamento, abrangendo a região de corte, transição da zona afetada termicamente e metal base, para comparação da microdureza nestas fases

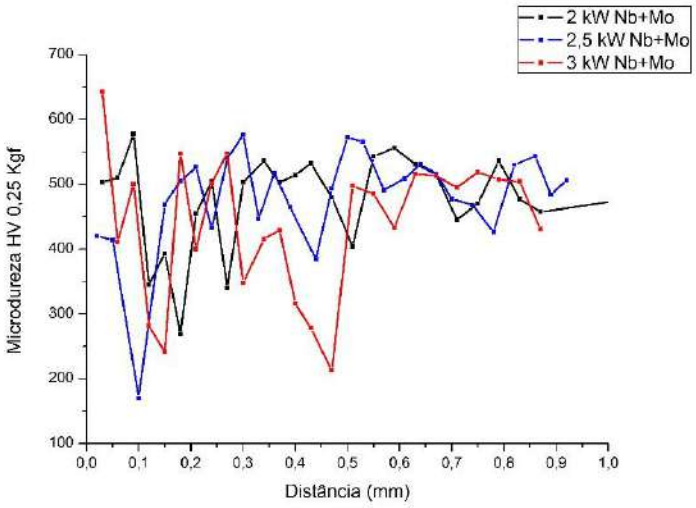



Figura 4. Análise da microdureza do material 22MnB5+NbMo

**3.0 RESULTADOS**

Na condição inicial, o aço 22MnB5 + NbMo possui uma microestrura ferrítica perlítica, porém o tratamento térmico de têmpera altera a microestrutura do aço 22MnB5 + NbMo transformando-a em estrutura martensítica, com traços de carboneto de Ferro e ocasionalmente carboneto de nióbio conforme figura 5. O aço liga composto por elementos como nióbio e molibdênio é usado com maior frequência em peças na indústria automotiva por sua característica atraente de aumento de resistência mecânica, combinando índice de esbeltez, capacidade de resistência elástica e diminuição considerável de massa, difícil de ser equilibrada com os aços macios convencionais.

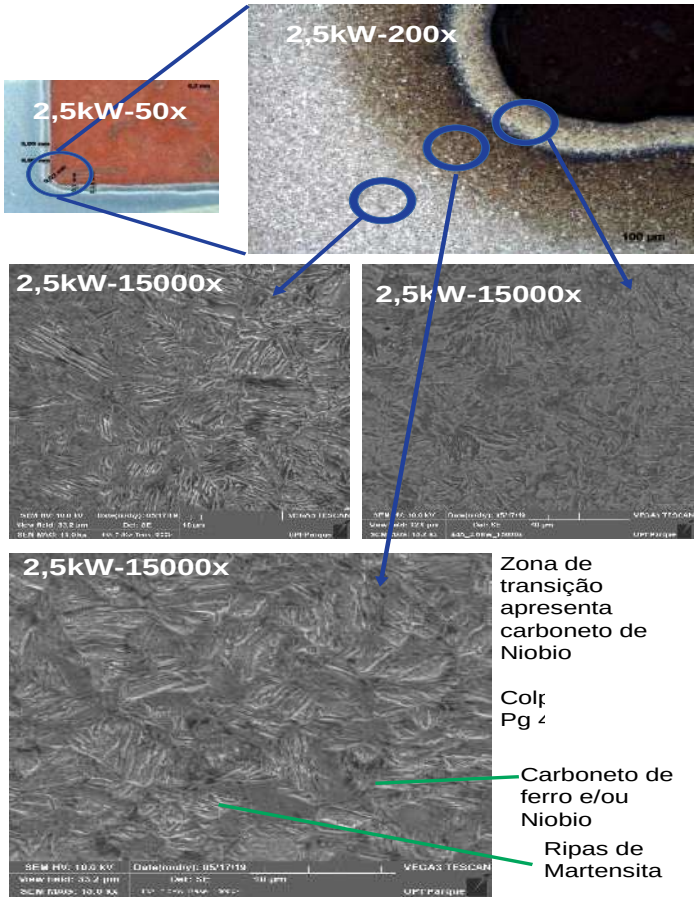



Figura 5. Análise da zac com potência de corte 2.5KW

## 4.0 CONCLUSÃO

Conforme a variação de potência com a taxa de velocidade constante, consegue-se avaliar as distintas precisões de corte, onde nota-se as diferenças na figuras 5. As variações da potência nas arestas de corte tornam-se visíveis através da micrografia.

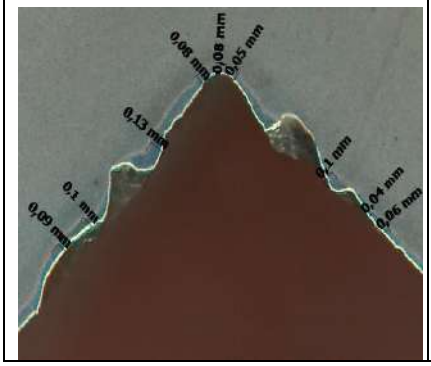
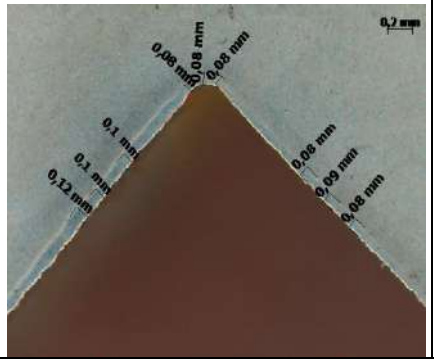
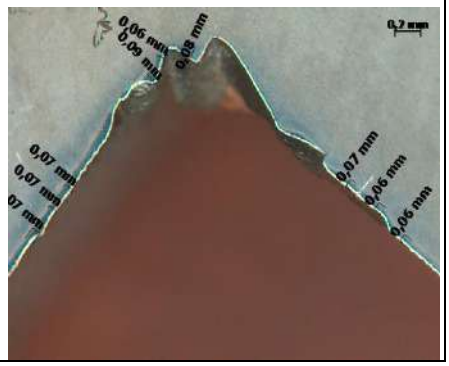
| Corte com potência de 2kw | Corte com potência de 2,5kw | Corte com potência de 3,0kw |
|---|---|---|
|  |  |  |

Figura 6. Oscilações de geometria conforme potência de corte

Conclui-se que a instabilidade da geometria de corte e no aporte térmico gerado, ocorre em decorrência da concentração de calor pelo feixe de corte e tem significativa ação em decorrência da massa vaporizada aliado aos elementos de liga. Essa afirmação pode ser confirmada pela alta rugosidade da linha da aresta de corte com a potência de 2kw, em sua totalidade de irregularidades no caminho do corte, e na concentração de calor no vértice da peça com a potência de corte 3,0kw.

A otimização do corte ocorreu na peça onde a potência de corte foi de 2,5kw, desta forma resulta na melhor relação velocidade/potência de corte, aliado a isso, pode-se também, a partir dessa analise otimizar o corte variando a velocidade conforme a potência de corte, obtendo um acabamento mais limpo e com geometrias homogêneas.

### 4.1 Agradecimentos

A empresa Brunning.tecnometal de Panambi – RS, pelo fornecimento das amostras e pela oportunidade de possibilitar aos estudantes aplicação da pesquisa e do conhecimento teórico a uma necessidade prática fabril.

## 5. REFERÊNCIAS

Åkerström, P., 2006. Modeling and simulation of hot stamping. Doctoral Theses, Luleå University of Technology, Sweden.

Colpaert, H., Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, 4a Edição by Andre Luiz V. da Costa e Silva, 2008, Published by Edgard Blucher in São Paulo, SP, Brasil .

Fan, D., Kim, H., De Cooman, B., 2009. A review of the physical metallurgy related to the hot press forming of advanced high strength steel. Steel Res. Int. 80, 241–248.

Järvinena, H., Honkanena, M., Järvenpääb, M.,2018. Effect of paint baking treatment on the properties of press hardened boron steels, Pasi Peuraa a Laboratory of Materials Science, Tampere University of Technology, P.O. Box 589, FI-33101 Tampere, Finlandb SSAB Europe Oy, Harvialantie 420, FI-13300, Hämeenlinna, Finland.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA OBTIDA POR CORTE A LASER EM UM AÇO STRENX 700

**Leonardo Tomasi Enderle**
**Amauri Gomes de Moraes**
**Márcio Walber**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
147811@upf.br; amauri@upf.br; mwalber@upf.br;

**Resumo:** *Os aços estruturais de alta resistência e baixa liga são muito usados na indústria metal mecânica, devido a sua alta confiabilidade e leveza nas estruturas a serem construídas quando comparados com outros materiais de mesma aplicação. Com o avanço de processos de corte o uso industrial do corte a laser, para fabricação de peças a partir de chapas metálicas, cresceu e se difundiu rapidamente, devido a sua simplicidade, versatilidade e produtividade. A escolha dos corretos materiais para aplicação a esse processo são de grande importância, pois o grande aporte térmico pode gerar componentes indesejados ao final do processo, como dureza superficial e zona termicamente afetada, que pode apresentar mudanças microestruturais e aumento do tamanho grão. O presente trabalho pretende analisar o aço ARBL (alta resistência e baixa liga) Strenx 700 submetidos ao processo de corte a laser para verificar os problemas citados acima. Para isso foram processadas e analisadas amostras para dureza superficial da seção de corte pelo processo de microdureza Vickers e micrografias da zona termicamente afetada, gerada pelo processo de corte a laser, com o auxílio de microscópio. O que se pode concluir que houve formação de uma zona termicamente afetada com formações martensíticas e bainíticas e cresimento de grão na zona fundida, uma região de recistalização e uma ragião de aumento de grão antes do metal base.*

***Palavras Chave:*** *ARBL, Strenx 700, corte a laser, corte com alta temperatura, microdureza, zona termicamente afetada.*

## 1. INTRODUÇÃO

A base de toda a indústria metal mecânica se concentra na escolha de matéria prima e processos de fabricação. A cada ano que passa a competitividade do mercado aumenta devido a demanda de produtos e a quantidade de novas empresas que tentam entrar no mercado a todo instante. Assim, qualidade do produto e rapidez da entrega da manufatura são prioridades em todos os empreendimentos.

Por esses motivos a forma de desenvolver projetos foi se aprimorando com o passar dos tempos, buscando preencher lacunas que na futura fabricação dos itens se tornavam problemas e atrasavam suas entregas. Dois grandes fatores de projeto que melhoraram significativamente com os anos são escolha de matéria prima e processos de produção, que determinam diretamente no sucesso ou a rejeição do produto.

A escolha do material correto para a aplicação desejada é um processo de grande complexidade e importância. Isto decorre da infinidade de materiais que estão à disposição no mercado, combinado com as necessidades mecânicas dos projetos e as limitações de processos de fabricação dos elementos.

Um processo que se popularizou, devido a sua velocidade e alta eficiência é o corte a laser. Sua aplicação no corte de chapas metálicas trouxe uma redução de custos significativa para a produção. Redução essa que se origina de um baixo índice de sucata e alta produtividade.

Mesmo com processos de alta produtividade e materiais de alta confiabilidade, a aplicação do processo no material pode gerar resultados não satisfatórios. Problemas de vida em fadiga, ou diminuição da resistência mecânica do material podem gerar falhas catastróficas em uma estrutura ou componente. Assim a aplicação do processo em certos materiais deve ser cuidadosa para que quando estiver montada no seu conjunto o mesmo possa ser usado em segurança.

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência do corte a laser sobre um material de alta resistência mecânica e baixa liga, aço Strenx 700, na superfície de corte, por ensaio de microdureza e micrografia. Isso para verificar alterações no material que podem levar a uma falha.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir é apresentado um resumido estudo do aço STRENX 700, seus principais aspectos e elementos de liga que influenciam de forma expressiva no corte a laser. Também, é apresentado o processo de corte a laser com suas influências no material.

### 2.1 Aço STRENX 700

O aço Strenx 700, é um material que possui um limite de escoamento mínimo de 700 Mpa. Esse aço estrutural proporciona para as estruturas onde é usado uma vantagem que o torna cada vez mais procurado nas construções e componentes, a leveza e a alta resistência mecânica (SSAB 2019).

Segundo SSAB (2019), o material de alto desempenho da classe Strenx são aços de composição extremamente pura. Isso juntamente com o seu baixo teor de elementos de liga, o torna muito fácil de ser cortado. Esses materiais podem ser cortados por todos os métodos de corte térmico, incluindo oxi-corte, corte a plasma, bem como corte a laser. Pode ser observado na Tabela 1 a composição química do material segundo a norma EN 10149-2.

Tabela 1. Composição química aceita conforme a norma regente

| C (max %) | Si (max %) | Mn (max %) | P (max %) | S (max %) | $Al_{tot}$ (min %) | Nb (max %) | V (max %) | Ti (max %) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.12 | 0.21 | 2.10 | 0.020 | 0.010 | 0.015 | 0.09 | 0.20 | 0.15 |

Fonte: Adaptado de (SSAB 2019)

### 2.2 Corte a Laser auxiliado por gás

O processo de corte a laser está cada vez mais difundido no mercado devido à sua versatilidade e redução de custo comparado com outros processos de corte. A aplicação na indústria está se tornando comum devido a velocidade de produção, qualidade dimensional e possibilidade de gerar peças de geometrias complexas sem esforço e sem necessidade de processos posteriores.

O corte a laser, segundo Powell (1993), consiste em um feixe de alta intensidade de luz que é focado na superfície da peça de trabalho por meio de diversas lentes. Esse foco é um pequeno ponto que funde o material em toda a sua espessura onde posteriormente é expulso da área de corte por meio de um jato gás pressurizado. Para aços normalmente é usado oxigênio como gás de retirada de material, pois o mesmo gera um processo de oxidação no material aumentando o calor na zona de corte. O feixe é movimentado sobre o material dando forma e gerando as arestas, furos e marcações programadas, anteriormente, por computador.

O processo de corte a laser é caracterizado por parâmetros do processo que determina a eficiência, economia e qualidade, os pesquisadores sempre tentaram otimizar o processo através de experimentos analíticos e baseados em técnicas de modelagem e otimização para conseguirem encontrar parâmetros ideais para chegarem ao máximo de eficiência, e próximos do processo ótimo (A.K. DUBEY, 2018).

### 2.3 Influência da potência de corte e velocidade de avanço no corte a laser

Os principais parâmetros que influenciam na quantidade de calor que é fornecida para a peça de trabalho no corte a laser são a potência e a velocidade de corte. A temperatura na zona de corte é controlada com a variação desses dois parâmetros, pois a potência aumenta a quantidade de calor fornecida ao material e a velocidade de corte aumenta o tempo que a peça receberá esse calor.

#### 2.3.1 Efeito da velocidade de corte

Segundo Sharif e Akbari (2019), com o aumento da velocidade de corte, a temperatura da área de corte diminuiu. Devido ao menor tempo de interação do feixe de laser com material na seção de corte, a temperatura na mesma diminui fazendo com que a retirada do material fundido seja mais difícil. Caso a velocidade de corte fosse muito baixa, o grande aumento na temperatura pode gerar fixação de escória na parte inferior da peça e gerar um aumento de rugosidade na superfície de corte. Também, como a zona termicamente afetada é gerada por um acréscimo de temperatura, a mesma ficaria maior caso o tempo de exposição do material à altas temperaturas fosse prolongado.

### 2.3.2 Efeito da potência de corte

Segundo Sharif e Akbari (2019), aumentar a potência do laser de 2500 para 3500 W resulta em aumento de temperatura de cerca de 250 °C. Esse aumento de temperatura gera um melhor fluxo de retirada de material da seção de corte facilitado a limpeza da zona de corte e melhorando as condições de corte para maiores espessuras. Porém, o aumento excessivo da potência pode gerar deterioração da superfície da peça e um aumento de rugosidade superficial. Com o aumento da potência se aumenta a temperatura, o que aumenta também a área afetada por ela, fazendo com que essa zona afetada seja maior.

## 2.4 Influência dos elementos de liga no corte a laser

Os elementos de liga podem ser um grande problema para o corte laser como podem ser uma solução imediata de outro. A correta escolha dos materiais aliados aos parâmetros de corte deve ser analisada antes do início do processo. Segundo Ivarson, Powell e Siltanen (2015) segue a influência dos elementos de liga no corte a laser.

### 2.4.1 Carbono e Manganês

Mudando a relação entre carbono e manganês, a termodinâmica química na zona de corte muda. Ao aumentar a quantidade de carbono e ao mesmo tempo reduzir a quantidade de manganês, a energia liberada pelo material será reduzida. Isso resulta em um processo de corte mais estável, com risco reduzido de uma aresta de corte muito rugosa.

Este é, no momento, a explicação mais razoável por que os materiais com alto teor de manganês geram uma aresta de corte de baixa qualidade quando comparada a materiais com baixo teor de manganês.

### 2.4.2 Silício

O conteúdo de silício não parece influenciar a qualidade do corte. Amostras com alto teor de silício contêm uma superfície de corte de ótima qualidade enquanto as amostras com baixo teor, formam um corte rugoso com escória aderente.

### 2.4.3 Óxido de Cromo

O óxido de cromo não é de grande interesse na composição do material, pois é o mesmo para todas as amostras e seu ponto de fusão é muito acima da temperatura da zona de corte. Além disso, o cromo deve oxidar, e sua energia de oxidação é alta, logo isso deve resultar na queima na aresta de corte, gerando uma superfície de corte rugosa.

## 2.5 Zona Termicamente Afetada (ZTA)

A zona termicamente afetada é um efeito que ocorre nos materiais ao serem expostos a um grande aporte térmico, este sendo tanto para corte, marcação ou soldagem. Segundo Rao et al. (2017) os parâmetros importantes do processo que afetam a ZTA (zona termicamente afetada) são a potência do laser e a velocidade de avanço, onde a o avanço é proporcional à sua largura. Com o aumento da velocidade de avanço há uma redução na ZTA. Isso ocorre, pois com um avanço mais baixo, o tempo de exposição da peça de trabalho ao laser é maior, o que induz maior quantidade de fusão do MB (metal base). Por outro lado, quando o tempo de exposição é reduzido, aumentando o avanço, isso leva a uma zona de fusão estreita, logo a largura da ZTA é reduzida (LEONE; GENNA; TAGLIAFERRI, 2014).

# 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para que os resultados esperados sejam alcançados, a preparação dos corpos de prova e a escolha correta dos ensaios são de grande importância. O material deve ser submetido a tudo o que for necessário para que se possa tirar conclusões verídicas do estuda a ser feito.

## 3.1 Materiais e Métodos

Os corpos de prova foram obtidos por meio de corte a laser e preparados por lixamento e polimento para serem analisados em ensaio de composição química, microdureza e análise micrográfica.

### 3.1.1 Material e obtenção das amostras

Os corpos de prova usados para esse trabalho foram obtidos a partir de um aço ARBL (alta resistência e baixa liga) e cortado em um processo de corte a laser. O aço que será utilizado para análise é o STRENX 700 com espessura de 6,35 mm (milímetros), dentro das especificações da norma EN 10149-2, esse foi submetido a um processo de corte a laser contínuo auxiliado por gás e com parâmetros de corte definidos pelo fabricante com alteração manual para que seja um corte com boa aparência visual. A seguir, na Tabela 2, vê-se a composição química do material obtida por meio de análise de composição química no Núcleo de Tecnologia Mecânica da UPF (NTM).

Tabela 2. Resultados da análise de composição química do material

| C | Si | Mn | P | S | Al | Nb | V | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0809 | 0,027 | 2,183 | 0,028 | 0,014 | 0,042 | 0,067 | 0,026 | 0,111 |

Após o material ser adquirido, o mesmo foi preparado para o corte. Para o processo de corte foi definido o formato a ser cortado e as dimensões, onde foi escolhido a geometria de um quadrado de 100 mm de lado para que houvesse uma boa quantidade de amostras caso houvesse qualquer problema no material.

Os parâmetros utilizados para o corte foram escolhidos conforme um padrão que é passado pela empresa que fornece o programa de controle e a máquina de corte a laser. Nesse caso um líquido anti respingo foi utilizado na superfície da peça para que nenhum resíduo formado na fusão do material, devido ao processo, ficasse preso a superfície do metal para que não ocorresse qualquer dano à superfície.

Com o corte feito foram definidas três áreas de estudo na peça, a entrada, o meio e a saída, que pode ser melhor verificada na Figura 2 a seguir.

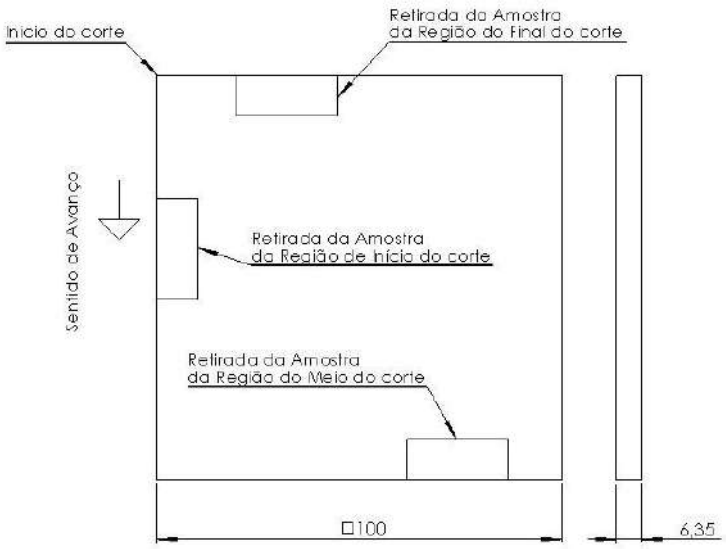



Figura 2. Imagem ilustrativa feita por computador da peça produzida por corte a laser

Da peça cortada foram retirados três corpos de prova. As mesmas foram obtidas com o uso de uma serra de corte policorte presente no NTM, essa foi usada para que os resultados que viriam a ser obtidos não sofressem qualquer interferência de um outro processo de corte mais agressivo.

### 3.1.2 Preparação da amostra para análise

Para a preparação da amostra foi usado uma técnica de lixamento progressivo com posterior polimento. Os corpos de prova passaram por um lixamento em lixas de 6 granulometrias diferentes, o processo começa com a lixa de menor granulometria e vai até a de maior granulometria e a amostra é girada 90º em cada troca de lixa para que todos os riscos deixados pela lixa mais robusta sejam refinados cada vez mais.

Logo após o lixamento as amostras passaram para um processo de polimento. A máquina utilizada tem uma área circular, que gira com ajuda de um motor e o processo se dá com a adição de alumina e água, ao adicionar os dois se atrita a superfície a ser polida com a superfície circular.

Com o fim do polimento as amostras passaram para uma capela de exaustão para o ataque químico. A amostra foi atacada com uma solução nital 2%, que consistem em 2% de ácido nítrico e 98 % de álcool etílico. As peças foram colocadas em contato com a solução por 30 segundos cada e após uma lavagem em água corrente.

### 3.1.3 Análise micrográfica

Após todas as preparações a primeira análise feita seria a micrografia. Com o auxílio de um microscópio com aumento de até 1000x, imagens seriam realizadas com o intuído de identificar as variações ocorridas no material devido ao alto aporte térmico do processo de corte a laser. Deve ser analisada as regiões próximas à superfície de corte, pois é onde está mais próximo das altas temperaturas.

Ao localizar a ZAC (zona afetada pelo calor) imagens ampliadas podem ser feitas. Com essas imagens passando por um tratamento de imagem com o auxílio de programas de computador, as mesmas podem ser usadas para verificar todas as mudanças e peculiaridades gerada no material pelo processo de corte a laser no material.

### 3.1.4 Ensaio de microdureza Vickers

O ensaio de microdureza vickers segue as normas ASTM E92 e ASTM E384. O identador usado é o previsto pela norma, e das variáveis para o tipo de material foram definidas uma carga de 25 g (gramas) por um tempo de aplicação de 15 s (segundos). Para o posicionamento das identações foi definido o início na zona fundida e que fosse feita uma progressão em direção ao metal base, variando 0,03 mm nas 9 primeiras análises e 0,5mm nas 2 últimas. Isso para que os dados obtidos cobrissem todas as alterações provenientes do corte a laser e comparar com um dado final do metal base.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização dos ensaios foram obtidas imagens mostram as modificações e fenômenos ocorridos devido à altas temperaturas provindas do corte e gráficos de variação de dureza progressiva desde a zona fundida até o metal base.

Características semelhantes foram possíveis de se visualizar nas diversas imagens retiradas das áreas de análise propostas. Na Figura 3, por exemplo, é possível verificar a presença de uma ZAC composta por uma zona fundida com crescimento de grão, uma região de recristalização e novamente uma região de crescimento de grão antes de chegar no metal base.

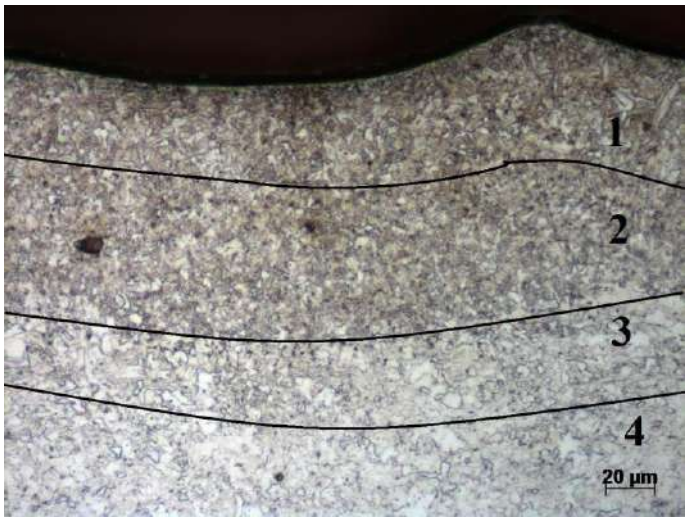



Figura 3. Micrografia ZAC do material, ampliação de 500x: (1) Zona fundida com crescimento de grão; (2) Zona de recristalização; (3) Zona de crescimento de grão; (4) Metal base

Foram feitas medidas do tamanho da ZTA para verificar variações devido às três diferentes amostras serem em locais diferentes de análise (entrada, meio e saída). As mesmas foram obtidas por computador como podem ser vistas na Figura 4 que contém os valores da entrada do corte, Figura 5 o s valores do meio e Figura 6 os valores da saída do corte.

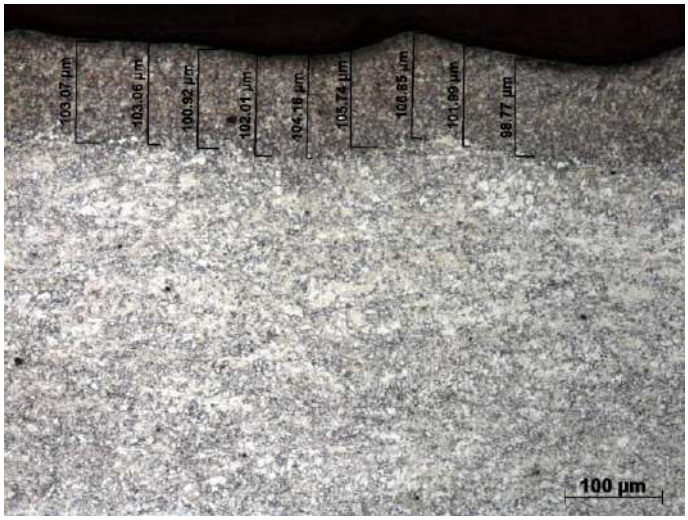



Figura 4. Medições de tamanho ZTA na entrada do corte, ampliação de 200x




Figura 5. Medições de tamanho ZTA no meio do corte, ampliação de 200x

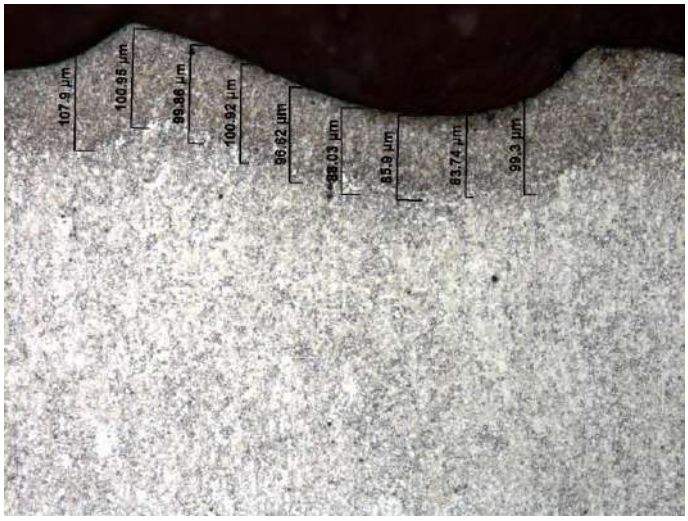



Figura 6. Medições de tamanho ZTA na saída do corte, ampliação de 200x

A comparação dos valores médios obtidos em cada local está presente na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado das medições da ZTA nas diferentes amostras

| **Regiões** / **Medidas (µm)** | **Entrada** | **Meio** | **Saída** |
|---|---|---|---|
| 1ª Medição | 103,07 | 100,38 | 107,9 |
| 2ª Medição | 103,06 | 108,96 | 100,95 |
| 3ª Medição | 100,92 | 99,3 | 99,86 |
| 4ª Medição | 102,01 | 103,06 | 100,92 |
| 5ª Medição | 104,16 | 100,91 | 96,62 |
| 6ª Medição | 105,74 | 98,23 | 88,03 |
| 7ª Medição | 106,85 | 99,3 | 85,9 |
| 8ª Medição | 101,99 | 104,13 | 83,74 |
| 9ª Medição | 98,77 | 108,96 | 99,3 |
| Média | 102,95 | 102,58 | 95,91 |

Na zona fundida, pode-se perceber que perto da borda da peça há presença de grãos colunares e progressivamente, antes da segunda região da ZAC, houve um grande aumento de grão que pode ser visto na Figura 7.

Essas formações são característica de uma região que sofreu um grande aumento de temperatura, suficiente para fundir o material, e posterirormente sofreu um rápido resfriamento, gás pressurizado de remoção de material, essa peculiaridade do processo agiu como um processo de têmpera nessa região gerando uma microestrutura de alta dureza, porém de grande fragilidade.

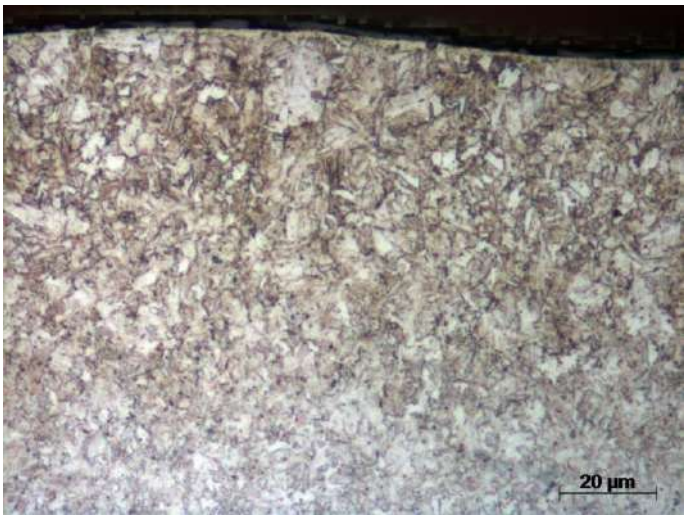



Figura 7. Região do meio do corte com presença de grãos colunares e crescimento de grão

Das zonas em questão, a segunda, zona de recristalização, aparece devido a uma das formas de obtenção do material, o encruamento. Essa zona é logo após a zona fundida onde a temperatura do corte a laser fez com que os grãos encruados gerassem nucleações assim gerando novos grãos, caracterizando a recristalização. Fenômeno esse é melhor apresentado na Figura 8.

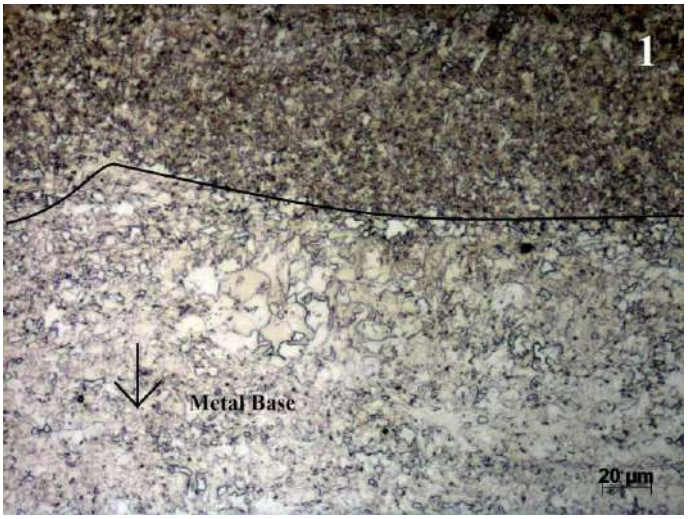



Figura 8. Região de entrada do corte, ampliado 500x. (1) Região Recristalizada

A última zona antes do metal base, a de crescimento de grão, ocorreu logo após a parte recristalizada do material. Essa região recebeu calor proveniente do corte a laser, porém esse não foi suficiente para que os grãos sofressem a recristalização, portanto os mesmos cresceram e não houve calor suficiente para a nucleação do material gerando uma zona de grandes grãos após uma zona recristalizada. Nesse ponto, Figura 9, pode-se verificar que houve o crescimento do grão, porém não ocorreu a nucleação e posterior recristalização do material.

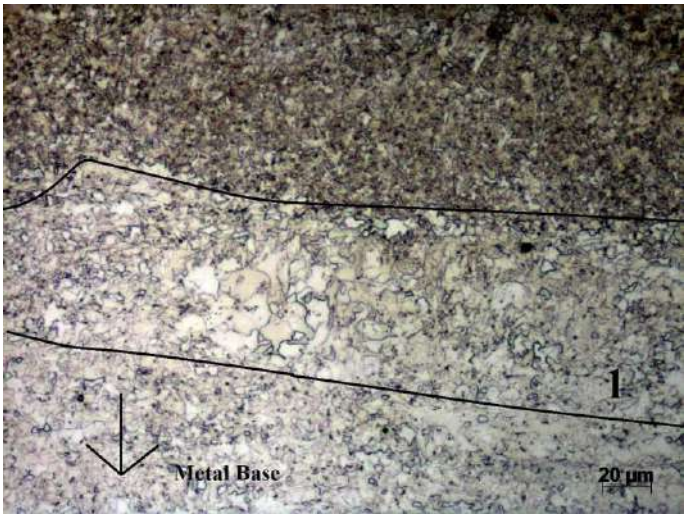



Figura 9. Região de entrada do corte, ampliado 500x. (1) Região de crescimento de grão após a recristalização

Na retirada dos valores de microdureza Vickers, as posições de retirada de valores se iniciaram na zona fundida e foram progressivamente avançando até o metal base, Figura 10, podendo verificar os valores em todas as diferentes formações presentes após o corte. Esse perfil de dureza é bastante usado para caracterização de ZTA, pois os valores encontrados são do mesmo material, mas em locais com formações diferentes o que ajuda na caracterização das modificações geradas em cada região formada.

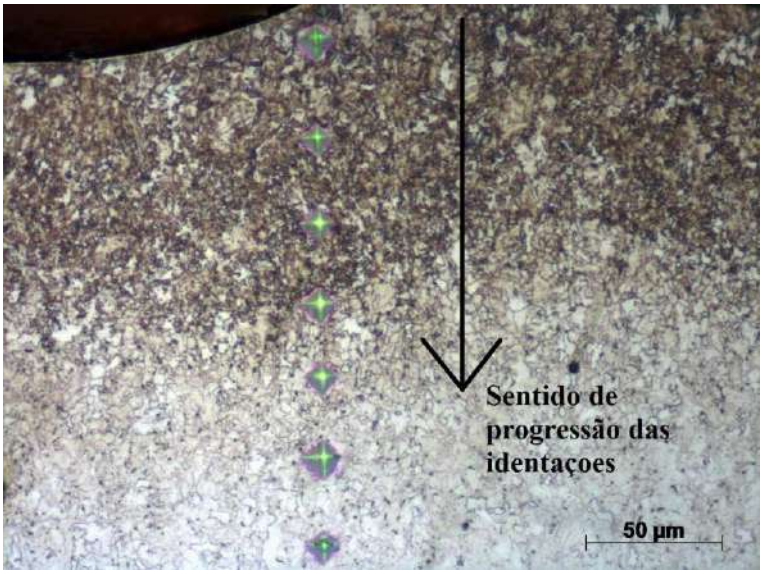



Figura 10. Progressão de identações para medição de microdureza Vickers

Na Figura 11 estão apresentados os valores obtidos no ensaio de microdureza progressiva desde a zona fundida até o metal base, mostrando todas as variações.

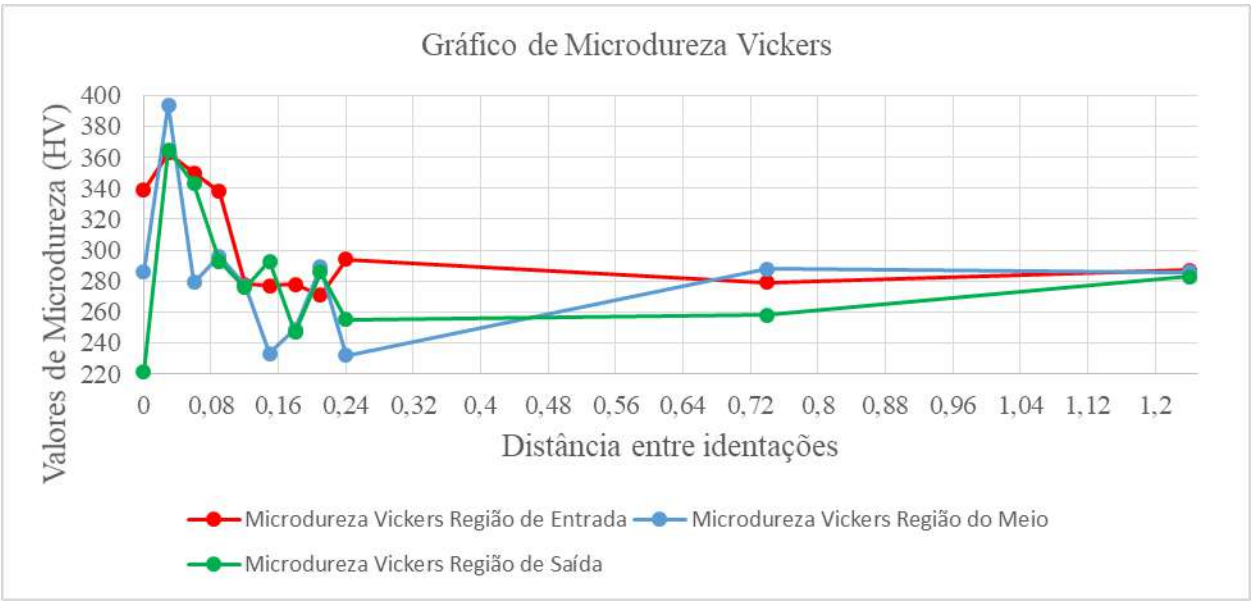



Figura 11. Gráfico de microdureza Vickers das três regiões analisadas

Na zona fundida, que é caracterizada pelos valores obtidos de 0 até 0,06 mm, houveram picos de dureza devido a alta temperatura do corte a laser e o rápido arrefecimento das peças propiciaram a formações de bainita e martensita que apresentam alta dureza, porém grande fragilidade. A região de 0,06 mm até 0,24 mm que está na zona termicamente afetada, logo após a zona fundida, ainda se pode verificar uma dureza um pouco maior que a do metal base devido a influência da temperatura na ZTA. De 0,24 mm em diante são os valores de dureza do metal base do aço Strenx 700.

## 5. CONCLUSÕES

Durante a análise dos resultados obtidos pelas micrografias e pela análise química, pode-se comprovar que o material se tratava de um aço STRENX 700. Os resultados obtidos mostraram recristalização no material, que é característica de um aço obtido por meio de trabalho a frio, e a composição química com baixas porcentagens de elementos de liga.

As medições feitas na ZTA, pode mostrar uma diferença de comportamento do material. Enquanto os resultados da entrada e do meio do corte ficaram parecidas, a medição na saída ficou menor o que conclui que durante o corte o aquecimento da peça promoveu alterações nas dimensões da zona termicamente afetada.

Nos ensaios de microdureza Vickers, pode-se concluir que ocorreu uma variação de dureza entre as zonas analisadas. As identações mas próximas da superfície de corte foram maiores e nos pontos subsequentes os valores de dureza foram ficando parecidos.

Na análise das imagens micrográficas, os resultados obtidos confirmam a influência da temperatura nas propriedades do material. Juntamente com as medições de dureza próximas a superfície de corte e o aspecto analisado no início das imagens, houve a formação de bainita e martensita na região fundida do material, depois mostrando características normais de uma ZTA, com formação de faixas distintas onde diferentes fenômenos puderam ser verificados como alterações no formato do grão, aumento do tamanho de grão e recristalização.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.K. Dubey, V. Yadava. Laser beam machining: a review. International Journal of Machine Tool and Manufacture, 48 (2008), pp. 609-628. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695507002325>. Acesso em: 26 maio 2019.

IVARSON, Anders; POWELL, John; SILTANEN, Jukka. Influence of Alloying Elements on the Laser Cutting Process. Physics Procedia, [s.l.], v. 78, p.84-88, 2015. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez116.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1875389215015102>. Acesso em: 25 maio 2019.

LEONE, C.; GENNA, S.; TAGLIAFERRI, V.. Fibre laser cutting of CFRP thin sheets by multi-passes scan technique. Optics And Lasers In Engineering, [s.l.], v. 53, p.43-50, fev. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143816613002431>. Acesso em: 26 maio 2019.

POWELL, John. CO2 laser cutting. London: Springer-Verlag, 1993.

RAO, Shivdayal et al. Fiber laser cutting of CFRP composites and process optimization through response surface methodology. Materials And Manufacturing Processes, [s.l.], v. 32, n. 14, p.1612-1621, 11 jan. 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10426914.2017.1279296?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 25 maio 2019.

SHARIF, Maziar; AKBARI, Mohammad. Experimental investigation of the effect of process parameters on cutting region temperature and cutting edge quality in laser cutting of AL6061T6 alloy. Optik: International Journal for Light and Electon Optics. Najafabad, Irã, p. 457-463. maio 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/optik>. Acesso em: 25 jun. 2019.

SSAB (Brasil). Strenx®700MC. 2019. Disponível em: <https://www.ssab.com.br/products/brands/strenx/products/strenx-700-mc?accordion=downloads>. Acesso em: 25 maio 2019.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CORROSÃO POR POLARIZAÇÃO CÍCLICA PARA OS AÇOS AISI 304 E AISI 420 EM SUPERFÍCIE POLIDA E JATEADA

**Lucas Dambrós**
**Leandro de Freitas Spinelli**
**Márcio Walber**
*Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900*
*131842@upf.br; leandro.spinelli@upf.br; mwalber@upf.br*

***Resumo:*** *Devido sua alta resistência contra a corrosão e resistência mecânica, os aços inoxidáveis foram adotados, na maioria dos casos, como o principal material para uso em instrumentos cirúrgicos. Porém, estes instrumentos quando polidos refletem a luz do ambiente nos olhos do cirurgião, assim os atrapalhando. Para diminuir esse reflexo, esses materiais podem ser jateados para se obter uma superfície mais opaca, mas acabam perdendo sua camada passivadora, sendo que esta é uma das características que esses materiais têm contra a corrosão. O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento dos materiais AISI 304 e AISI 420 após serem submetidos a testes de corrosão por meio do ensaio cíclico de polarização em superfícies polidas e com diferentes processos de jateamento. Será avaliado o comportamento eletroquímico em cada uma das ligas e apontado qual o melhor material para a utilização na confecção de tipos específicos de instrumentais cirúrgicos.*

***Palavras chave:*** *Aços inoxidáveis, corrosão, camada passivadora, jateamento, ensaio cíclico de polarização.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis normalmente têm sido empregados como instrumentais cirúrgicos. Durante muito tempo o aço 440C foi o mais popular para a fabricação desses materiais, porém, problemas relativos à corrosão localizada tais como pite, corrosão por fresta e fissuração por corrosão sob tensão apareciam no passar do tempo. Para controlar tal corrosão, muito estudo e determinação de pesquisadores foram necessários para descobrir materiais com melhor comportamento para as condições desejadas.

Apesar de resistir mais à corrosão quando comparado com outros tipos de metais, os aços inoxidáveis podem sofrer algum tipo de corrosão quando submetidos em meios muito agressivos, podendo prejudicar de alguma forma sua durabilidade ou aparência. Por isso, é muito importante especificar o tipo adequado de aço inoxidável que será usado, com fim de aproveitar ao máximo as propriedades desses materiais. A limpeza e a manutenção de rotina são muito importantes para garantir e preservar a beleza e a funcionalidade do material utilizado.

Para a realização deste trabalho foram escolhidas as ligas de aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420, as quais são umas das principais matérias-primas para a confecção de instrumentais cirúrgicos. Com isso, foram confeccionados corpos de prova de cada material, sendo em seguida preparadas suas superfícies em três processos: um com polimento e outros dois com jateamento. Esses materiais, através da polarização cíclica foram submetidos a potenciais de corrosão por pite e repassivação em uma solução de NaCl 0,9% com pH 2. O presente trabalho faz parte da linha de pesquisa em Biomateriais do Laboratório de Engenharia, Biomecânica e Biomateriais da Universidade de Passo Fundo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aço inoxidável AISI 304

O aço inoxidável AISI 304 é um aço austenítico de baixo teor de carbono, não magnético e não pode ser temperado. Tem propriedade de manter boas características de tenacidade até temperaturas extremamente baixas o que o torna um material adequado para aplicações sujeitas a choques e impactos (VILLARES, 1990).
Caracteriza-se por um coeficiente de dilatação térmica linear cerca de 50% superior ao dos aços para construção mecânica e suas principais aplicações estão ligadas na fabricação de equipamentos das indústrias químicas, farmacêutica, equipamentos hospitalares, válvulas e peças de tubulação, entre outros.

## 2.2 Aço inoxidável AISI 420

O aço inoxidável AISI 420 é um aço martensítico de alto teor de carbono e magnético, que no estado temperado com temperatura até 550°C apresenta boa resistência mecânica e até 630°C tem boa resistência à corrosão. Suas principais aplicações estão no ramo da cutelaria, moldes plásticos, instrumentos cirúrgicos, entre outros.

Caracteriza-se pela possibilidade de realização de têmpera, pois quando submetida a esse processo garante alta dureza e resistência mecânica ainda maior.

## 2.3 Corrosão por Pite

A corrosão por pites é caracterizada por um ataque altamente localizado de metais que se apresentam passivados, tais como os aços inoxidáveis, e somente ocorre em meio a potenciais de eletrodo iguais ou superiores a um determinado potencial, conhecido como potencial de pite, Epite. Assim, esse potencial tem-se constituído num parâmetro básico na avaliação da resistência de um metal a esse tipo de ataque, bem como a dependência desse potencial para com as diversas variáveis do metal e do meio tem sido extensivamente utilizada na investigação do mecanismo dessa forma de corrosão localizada (WOLYNEC, 2013).

Ela continua produzindo cavidades a partir da superfície e é um caso extremo onde áreas muito pequenas da superfície metálica são atacadas enquanto a parte principal da superfície permanece não afetada (RAMANATHAN, 1992). Na maioria das vezes não é possível identificar essa corrosão por meios visuais. Desta forma, esse tipo de corrosão é considerado um dos mais temidos, pois não pode ser previsível sua localização, distribuição e o tamanho podem depender das condições do ambiente e estrutura metálica envolvida (NETTO, 2009).

A quebra da película passiva é o início do problema e ocorre em regiões nas quais o material apresenta defeitos ou descontinuidades, como contornos de grão, discordâncias, interfaces, inclusões e precipitados (ROCHA, 2015).

## 2.4 Corrosão Intergranular

A corrosão intergranular é um processo de corrosão seletiva que ocorre nos contornos dos grãos e suas adjacências devido a alteração da composição química ou de microestrutura que podem ocorrer durante tratamentos térmicos (WOLYNEC, 2002). Com isso, pode haver perda de massa considerável devido ao destacamento dos grãos e os fatores que mais contribuem para esta situação estão listados abaixo:

- Acúmulo de impurezas;
- Enriquecimento de um determinado elemento de liga;
- Empobrecimento de um determinado elemento de liga.

Nos aços inoxidáveis esse fenômeno normalmente empobrece em cromo os contornos de grãos. Esse empobrecimento não assegura uma passivação adequada, então o aço fica suscetível a corrosão seletiva nos contornos de grãos. Com isso, o empobrecimento em Cr nos aços inoxidáveis chama-se sensitização, porque torna o material mais sensível a corrosão intergranular. Os aços austeníticos sofrem sensitização quando ficam determinado tempo expostos a temperaturas na faixa de 400 a 500ºC.

Uma das formas de avaliar a corrosão intergranular é através da técnica eletroquímica de reativação potenciocinética, também chamada de EPR. Esta pode ser realizada de três formas: ciclo simples, ciclo duplo e simplificada. A grande vantagem desses ensaios é o fato deles não destruírem as amostras (BARROS; MOREIRA, 2013).

## 2.5 Técnica Potenciodinâmica Cíclica

Na técnica potenciodinâmica cíclica, além do potencial de pite, pode também ser determinado o potencial de repassivação, Erp (WOLYNEC, 2002). A metodologia está estabelecida na norma ASTM G61 (1993). Essa técnica possui o emprego estrutural similar conforme a técnica potenciocinética ou potenciodinâmica e quando a densidade de corrente, após o aumento brusco atinge um determinado valor, faz-se a reversão da direção de varrimento do potencial. Dessa forma, a densidade de corrente em geral volta a diminuir e o varrimento na direção catódica é continuado até a curva descendente cruzar com a curva ascendente (obtida durante o varrimento inicial na direção anódica), ou até passar a assumir valores negativos (WOLYNEC, 2002).

O potencial de repassivação corresponde ao potencial em que a curva descendente cruza o eixo dos potenciais de eletrodo, isto é, quando a densidade de corrente assume valor nulo. A Figura 2 mostra as curvas representativas da polarização potenciodinâmica cíclica, apresentadas na norma ASTM G61.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo descrever os materiais e os métodos utilizados no experimento a fim avaliar o comportamento e a resistência à corrosão em superfícies polidas e jateadas dos aços inoxidáveis 304 e 420. Para facilitar o entendimento dos processos que serão utilizados, fez-se necessário criar um fluxograma onde constam as etapas e processos que serão utilizados. O mesmo ser observado na Figura 1.

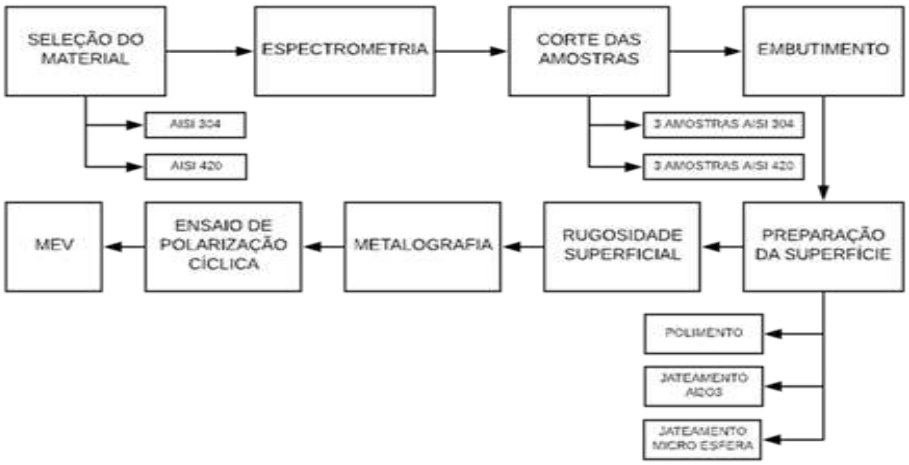



Figura 1. Fluxograma do trabalho de pesquisa

### 3.1 Espectrometria

A fim de garantir os resultados e a escolha da liga correta a ser utilizada, foi realizado o ensaio de espectrometria nas amostras dos materiais em seu estado inicial, ou seja, antes de ser realizado o acabamento superficial. Com isso, foram feitas as análises das composições químicas dos materiais em um equipamento da marca Oxford Instruments, modelo Foundry-Master Xline, pela norma SAE M1031.

### 2.2 Corpo de Prova

Para a realização dos corpos de prova, os aços foram cortados em uma serra circular com refrigeração em pequenas amostras de chapas referentes aos aços inoxidáveis 304 e 420, tendo dimensões de 20x10mm e 2mm de espessura. Após o corte, as peças foram encaminhadas para uma máquina embutidora, onde os mesmos foram embutidos com material cerâmico . Para cada tipo de aço, foi destinado um total de três amostras, sendo:

- Uma com a superfície polida;
- Uma com a superfície jateada com óxido de alumínio;
- Uma com a superfície jateada com microesfera de vidro.

Após esses processos, realizou-se uma furação no centro da amostra embutida, onde foi inserido um fio de cobre que tem função de conduzir a eletricidade para o material estudado e acelerar a corrosão quando as amostras forem submetidas ao ensaio de corrosão por polarização cíclica.

### 3.3 Preparação da Superfície

Foram preparadas de três formas diferentes as superfícies dos aços inoxidáveis 304 e 420. São eles: O polimento, o jateamento de $Al_2O_3$ e o jateamento com microesfera de vidro. Serão citadas, de forma breve como se procedeu cada processo.

#### 3.3.1 Polimento

Para obter o acabamento superficial igual ao dos instrumentos cirúrgicos, foi realizado o polimento de 6 amostras de cada material. Primeiramente, cada amostra foi lixada partindo da lixa de menor granulação até a maior granulação, utilizando água corrente como lubrificante. As sequências de utilização das lixas foram: 80, 150, 220, 420, 600 e 1200. Para cada mudança de lixa foi necessário seguir o método de lixamento, que pode ser visto na Figura 6, girando a amostra em 90º para cada nova etapa do processo.

Por fim, para realizar o polimento nos corpos de prova, os mesmos foram processados em uma máquina politriz, da marca Struers, usando alumina como lubrificante.

### 3.3.2 Jateamento com Partículas de $Al_2O_3$

O processo de jateamento com partículas de $Al_2O_3$ é o mais utilizado para as preparações das superfícies em instrumentos cirúrgicos e tem como finalidade limpar e deixar a superfície dos materiais menos reflexiva. Partindo disso, o mesmo foi realizado pela empresa Expert Med, que está localizada na cidade de Passo Fundo – RS, e como resultado foram adquiridas novas condições de rugosidade superficial.

### 3.3.3 Jateamento com Microesfera de Vidro

Esse processo de jateamento com microesfera de vidro é muito utilizado para preparação de superfícies nas indústrias de equipamentos em aços inoxidáveis e tem como finalidade limpar e deixar a superfície dos materiais menos reflexiva. Partindo disso, o mesmo foi realizado em um equipamento da marca CMV, tamanho de granulometria de 212-425μm e pressão de operação do jato de 8 bar, onde foram adquiridas novas condições de rugosidade superficial.

## 3.4 Rugosidade Superficial

Os valores de rugosidade foram obtidos em um rugosímetro da marca Mitutoyo modelo SJ-410, configurado conforme a norma ISO 1997, pelo parâmetro Ra. Foram realizadas 5 medições nas amostras de cada material, referente ao tipo de acabamento superficial de cada um.

## 3.5 Metalografia

A metalografia foi outra ferramenta utilizada para garantir a confiabilidade das microestruturas dos materiais utilizados. Para revelar a microestrutura do aço inox 304 foi utilizado ácido oxálico aplicando uma carga elétrica de 12 volts na superfície da amostra, e para a do aço inox 420 foi utilizado o ataque químico Vilella's. As imagens foram geradas por um microscópio Axio, fabricado pela empresa Zeiss, onde a norma técnica seguida foi a NBR 13284. Para essas amostras, foram utilizadas aproximações de 50, 100, 500 e 1000 vezes.

## 3.6 Ensaio de corrosão por Polarização cíclica

Com o auxílio de um potenciostato galvanostado da marca AUTOLAB, modelo PGSTAT128N, seguindo a norma ASTM G48 com célula eletroquímica de três eletrodos, controlado pelo programa Corrosion Meandurement Software, pôde-se realizar a polarização potenciodinâmica cíclicas das amostras. Como referência no equipamento, teve um eletrodo de Ag/AgCl e uma lâmina de platina com 1cm² como contra eletrodo. Cada amostra ficou imersa em uma solução de Cloreto de Sódio com pH 2 durante 30 minutos, até que iniciasse as polarizações, partindo do potencial de circuito aberto e realizando uma varredura de 10 mV/min, revertendo a direção da varredura quando a densidade da corrente anódica atingisse 10 mA/cm². O tempo médio total no processo foi de 90 minutos e foram realizados 5 ciclos para cara tipo de superfície. Gerado os valores, os mesmos foram analisados com gráficos e tabelas, onde foram comparados os valores de Ecorr, Epite e Erep.

## 3.7 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

O Microscópio Eletrônico de Varredura foi utilizado para geração de imagens com grandes aproximações, onde pôde-se observar com maior clareza o surgimento das corrosões nas superfícies das amostras. Foi utilizado um microscópio da marca Oxford Instruments modelo Tescan Veja 3, o qual está localizado no módulo II do parque tecnológico da Universidade de Passo fundo (UPF).

# 4. RESULTADOS

Nesta seção serão abordados os resultados referentes aos comportamentos dos AI 304 e 420. As etapas realizadas foram o ensaio de espectrometria, a rugosidade superficial, os resultados dos ensaios eletroquímicos de corrosão e a análise das imagens obtidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

## 4.1 Espectrometria

Pelo ensaio da espectrometria, foi garantido que a composição química resultante é a mesma que a esperada para cada tipo de material avaliado. Com isso, os resultados obtidos são apresentados a seguir. A Tabela 1 mostra a composição química esperada e a medida para o AISI 304.

Tabela 1 - Composição química AISI 304

| Composição química média do aço AISI 304 (%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Resultado | Fe | C máx | Si | Mn máx | P | S | Cr | Ni |
| Esperado | 61,0 | 0,08 | 0,75 | 2,00 | 0,05 | 0,30 | 15,00-18,00 | 8,00 |
| Medido | 61,6 | 0,08 | 1,25 | 0,59 | 0,15 | 0,35 | 15,90 | 6,96 |

Para a Tabela 2, está a composição química esperada e a medida para a do AISI 420:

Tabela 2 - Composição química AISI 420

| Composição química média do aço AISI 420 (%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Resultado** | **Fe** | **C** | **Si máx** | **Mn máx** | **P máx** | **S máx** | **Cr** | **Ni** |
| **Esperado** | 84,5 | 0,30 – 0,42 | 1,00 | 1,00 | 0,04 | 0,03 | 12,00 - 14,00 | 0,9 |
| **Medido** | 85,8 | 0,37 | 0,47 | 0,27 | 0,04 | 0,02 | 12,7 | 0,15 |

### 4.2 Rugosidade Superficial

Já pelos ensaios de rugosidade, pode se observar na Tabela 3 que pelo processo de jateamento Al2O3, obteve-se uma rugosidade consideravelmente maior quando comparado com o processo de jateamento de microesfera.

Tabela 3 - Resultados das rugosidades superficiais

| Nº Amostra | AISI 304 | | | AISI 420 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Polido | Jateado $Al_2O_3$ | Jateamento ME | Polido | Jateado $Al_2O_3$ | Jateamento ME |
| **1** | 0,062 | 1,239 | 2,383 | 0,055 | 1,867 | 3,169 |
| **2** | 0,059 | 1,275 | 2,120 | 0,05 | 1,593 | 2,718 |
| **3** | 0,034 | 1,219 | 2,050 | 0,074 | 1,785 | 2,745 |
| **4** | 0,033 | 1,230 | 2,413 | 0,039 | 1,899 | 3,32 |
| **5** | 0,034 | 1,243 | 2,316 | 0,064 | 2,051 | 2,759 |
| **Média Ra (µm)** | 0,044 | 1,241 | 2,256 | 0,056 | 1,839 | 2,9422 |
| **Desvio Padrão (µm)** | 0,013 | 0,019 | 0,145 | 0,012 | 0,150 | 0,252 |

### 4.3 Metalografia

Antes dos ensaios de corrosão, foram realizadas as metalografias nos corpos de prova, afim de demonstrar a microestrutura obtida em cada material com o acabamento superficial polido e as suas macrografias com as superfícies jateadas, tanto para o processo de jateamento com Al2O3 como para o jateamento com microesfera de vidro.

Na Figura 2, estão as imagens micrográficas referente ao material AISI 304 com superfície polida, sendo como (a) 50x, (b) 100x, (c) 500x e (d) 1000x de ampliação:

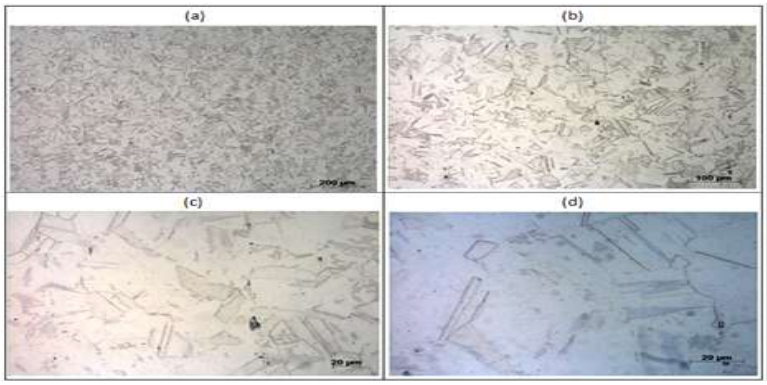



Figura 2. Micrografia do material AISI 304

Na Figura 3, estão as imagens micrográficas referente ao material AISI 420 com superfície polida, sendo como (a) 50x, (b) 100x, (c) 500x e (d) 1000x de ampliação:

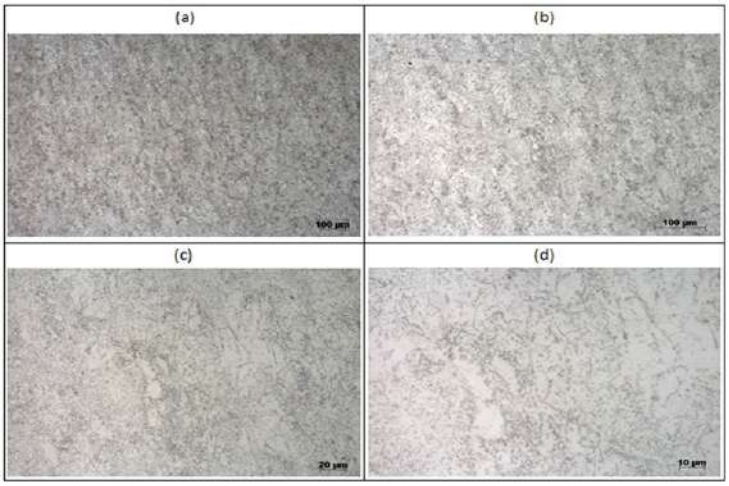



Figura 3. Micrografia do aço AISI 420

### 4.4 Ensaio de corrosão por polarização cíclica

Após a realização dos testes de polarização cíclica nas 6 amostras, obteve-se os valores para geração dos gráficos, a partir do potencial do eletrodo juntamente com a densidade da corrente aplicada em cada amostra. Abaixo serão apresentados os gráficos contendo as curvas de polarização obtidas para todos os ciclos de corrosão para os aços AISI 304 e AISI 420. Os gráficos abaixo foram obtidos para as amostras dos AISI 340, onde a Figura 4 mostra o gráfico obtido após as polarizações cíclicas para a superfície polida, a Figura 5 para a $Al_2O_3$ e a Figura 6 para a Microesfera de Vidro.

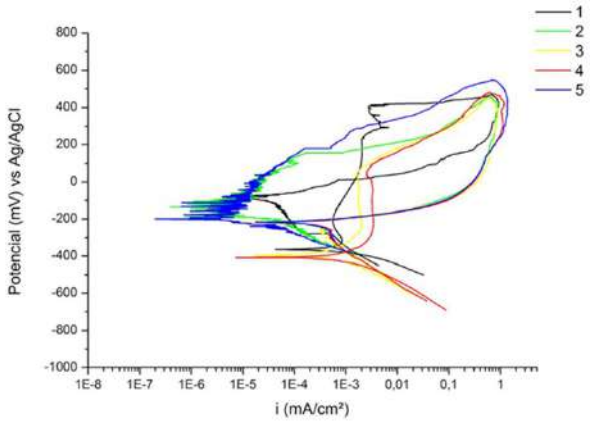



Figura 4. Ciclos de Polarização para o aço AISI 304 Polido

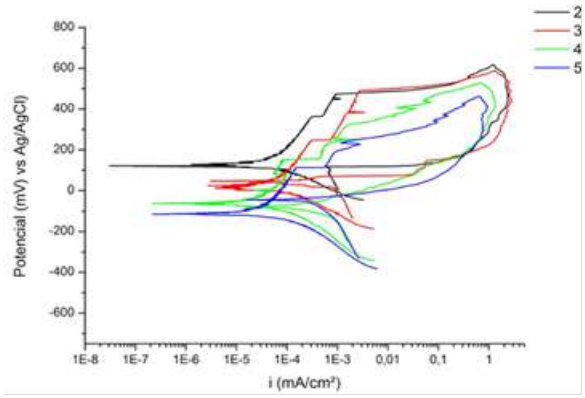



Figura 5. Ciclos de Polarização para o aço AISI 304 $Al_2O_3$

Para o gráfico da Figura 6, com os valores obtidos, não foi possível realizar a plotagem do gráfico para o primeiro ciclo.

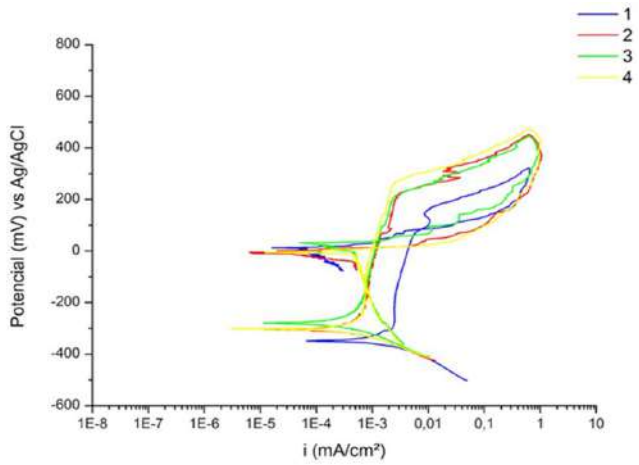



Figura 6. Ciclos de Polarização para o aço AISI 304 Microesfera de vidro

Os gráficos abaixo foram obtidos para as amostras dos AISI 420, onde a Figura 7 mostra o gráfico obtido após as polarizações cíclicas para a superfície polida, a Figura 8 para a $Al_2O_3$ e a Figura 9 para a Microesfera de Vidro.

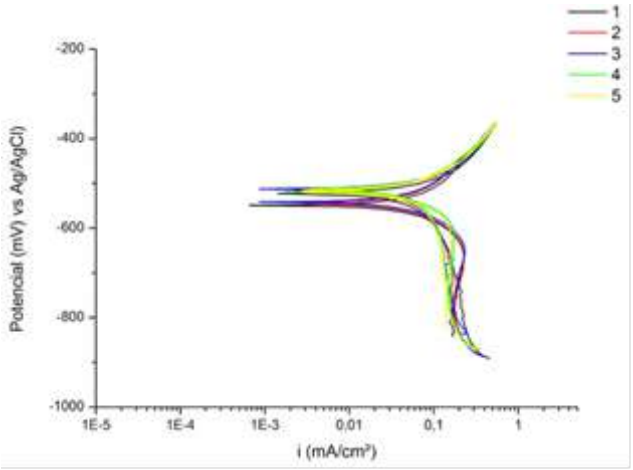



Figura 7. Ciclos de Polarização para o aço AISI 420 Polido

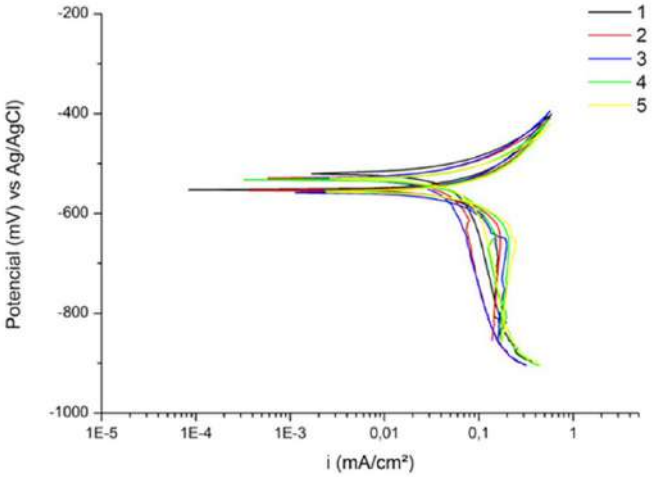



Figura 8. Ciclos de Polarização para o aço AISI 420 $Al_2O_3$

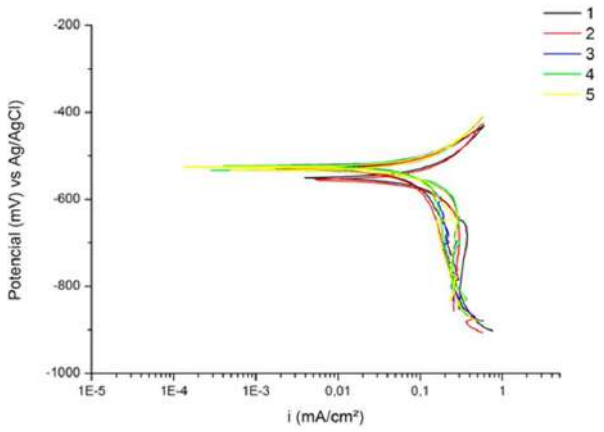



Figura 9. Ciclos de Polarização para o aço AISI 420 Microesfera de Vidro

A partir dos gráficos foram realizadas as leituras dos potenciais de corrosão (Ecorr), os potencias de Pite (Epite) e os potenciais de Repassivação (Erep), onde pôde se tirar os valores para tais potencias, e os mesmos podem ser vistos na Tabela 4:

Tabela 4 – Potenciais de corrosão (Ecorr) e de Pite (Epite) para os aços AISI 304 e AISI 420

| Superfície | Ciclo | AISI 304 | | | AISI 420 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ecorr (mV) | Epite (mV) | Erep (mV) | Ecorr (mV) | Epite (mV) | Erep (mV) |
| Polida | 1 | -364 | 410 | 20 | -549 | -367 | - |
| | 2 | -131 | 158 | -200 | -543 | -364 | - |
| | 3 | -389 | 70 | -194 | -543 | -364 | - |
| | 4 | -408 | 95 | -182 | -518 | -362 | - |
| | 5 | -408 | 170 | -207 | -516 | -362 | - |
| $Al_2O_3$ | 1 | -174 | 512 | 122 | -552 | -398 | - |
| | 2 | -122 | 480 | 52 | -555 | -412 | - |
| | 3 | -19 | 497 | -67 | -558 | -395 | - |
| | 4 | -56 | 328 | -40 | -555 | -409 | - |
| | 5 | -110 | 247 | -80 | -529 | -418 | - |
| Microesfera | 1 | -345 | 163 | 85 | -530 | -432 | - |
| | 2 | -355 | 198 | 40 | -530 | -429 | - |
| | 3 | -310 | 227 | 12 | -521 | -415 | - |
| | 4 | -277 | 217 | 36 | -521 | -412 | - |
| | 5 | -296 | 276 | 16 | -524 | -412 | - |

Nessa tabela, pode ser observado que para o aço AISI 304 com superfície jateada com óxido de alumínio, o mesmo apresentou um potencial de corrosão menor quando comparado com a superfície jateada com microesfera de vidro, porém para os potenciais de pites para esse acabamento foram maiores. Para os potenciais de repassivação, o acabamento superficial com microesfera se manteve com potencial positivo, enquanto para o óxido de alumínio iniciou-se um potencial positivo até o segundo ciclo, e ficando negativo para os demais.

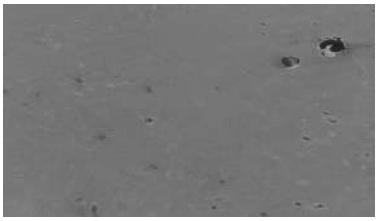
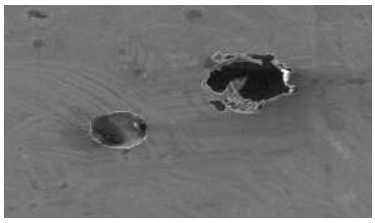
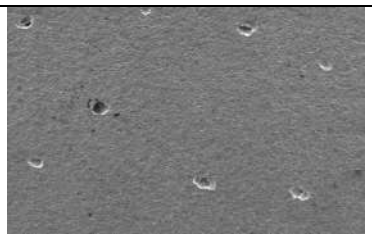
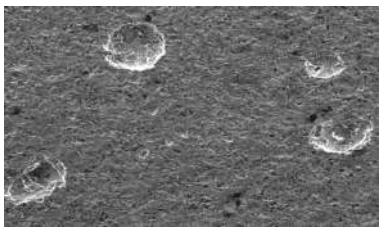
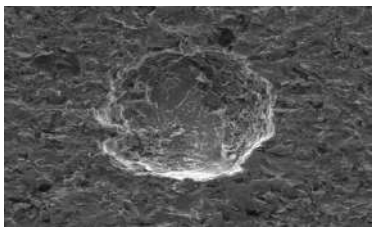
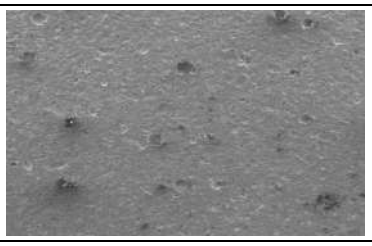
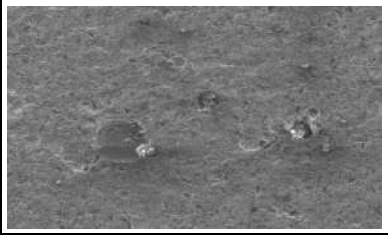
Já para o aço AISI 420, os mesmos apresentaram potencial de corrosão muito elevados, levando as amostras a sofrerem uma corrosão muito agressiva e precoce. Os valores para os três tipos de acabamento superficiais ficaram todos dentro de uma faixa do potencial de corrosão, enquanto que para os valores dos potenciais de pite ficaram muito altos, tendo uma corrosão muito agressiva e danificando a amostra uniformemente. Para esse material, o potencial de repassivação apresentou valores muito baixos ou quase nulos, assim não podendo serem computados.

Após essas análises, as amostras foram encaminhadas para o microscópio eletrônico de varredura, onde pode ser observada a superfície das amostras após sofrerem os cinco ciclos de corrosão.

### 4.5 Microscópio Eletrônico de Varredura

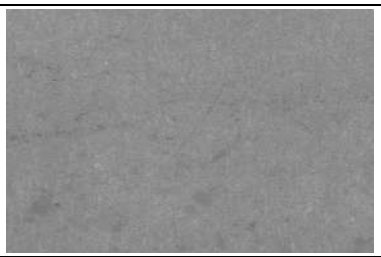
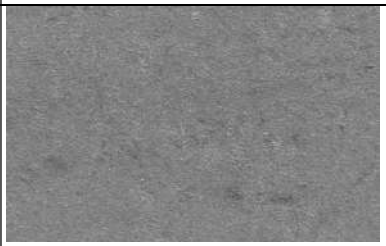
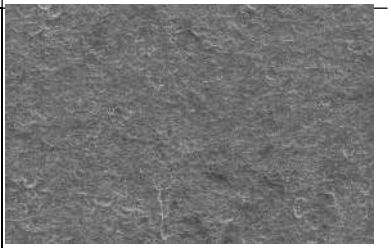
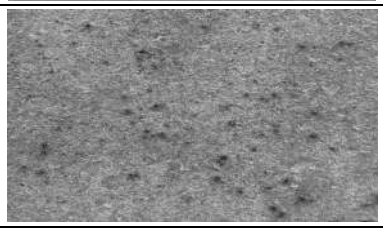
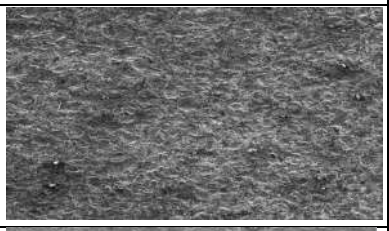
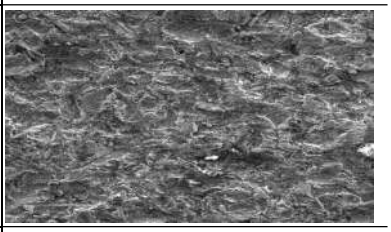
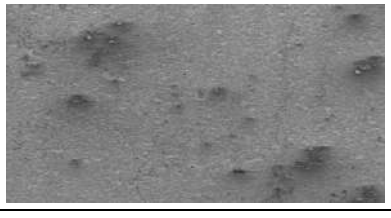
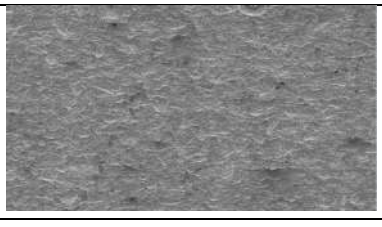
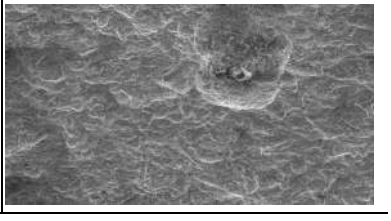
Depois que todos os processos estabelecidos foram concluídos, realizou-se as imagens das amostras para que se pudesse observar o surgimento da corrosão por pites. Abaixo, o Quadro 1 mostra as imagens obtidas nas amostras do AISI 304 com aproximações de 120, 400, e 1200 vezes:

Quadro 1 - Imagens MEV AISI 304

| AISI 304 | | | |
|---|---|---|---|
| **Tipo de acabamento** | **Aproximação (x)** | | |
| | **120** | **400** | **1200** |
| **Polida** |  |  |  |
| **$AL_2O_3$** |  |  |  |
| **Microesfera** |  |  |  |

Já no Quadro 2, encontram-se as imagens obtidas no MEV para as amostras do AISI 420 com aproximações de 120, 400, e 1200 vezes:

Quadro 2- Imagens MEV AISI 420

| AISI 420 | | | |
|---|---|---|---|
| **Tipo de acabamento** | | | |
| | **120** | **400** | **1200** |
| **Polida** |  |  |  |
| **$AL_2O_3$** |  |  |  |
| **Microesfera** |  |  |  |

Após gerar as imagens e analisa-las, podemos observar que o surgimento da corrosão por pites se desenvolveu com muito mais clareza nas amostras dos AISI 304 quando comparadas com as do AISI 420. Conseguimos identificar que nas amostras do AISI 420 a corrosão ocorreu de forma mais agressiva, devida a resistência à corrosão desse material ocorrer com menos efetividade.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme os objetivos propostos no presente trabalho, pôde verificar uma grande diferença no comportamento dos materiais frente aos ensaios de corrosão. O material AISI 304 apresentou grande surgimento por pites enquanto o AISI 420 também apresentou essa corrosão, porém de uma forma muito mais agressiva e consequentemente uma destruição na superfície da amostra após a realização dos 5 ciclos de corrosão, tendo uma dificuldade em visualizar os pites no microscópio.

Em relação à rugosidade superficial, o processo de jateamento com óxido de alumínio apresentou uma rugosidade menor devido ao tamanho da granulometria utilizada quando comparada com a do jateamento com microesfera de vidro. Já para os ensaios de corrosão, devido a composição química dos AISI 304, o mesmo apresenta o potencial de repassivação observadas nos gráficos, enquanto o AISI 420 não apresenta essa qualidade.

Portanto, o AISI 304 com a superfície jateada com óxido de alumínio irá ter uma maior vida útil nos instrumentais cirúrgicos após os tratamentos químicos realizados para sua limpeza.

## 6. REFERENCIAS

ASTM G 61 – 86 (Reapproved 1993). **"Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel or Cobalt-Based Alloys"**. In: 1997 Annual Book of ASTM Standards. Section 3: Metals Tests Methods and Analytical Procedures. Volume 03.02: Wear and Erosion; Metal Corrosion. West Conshohocken, ASTM, 1997.

BARROS, Artur Pratti de; MOREIRA, Filipe Luppi. **Influência do tempo de exposição à 475ºC na sensitização e nos potenciais de pite e de proteção do aço inoxidável super duplex UNS S32750.** 2013. 60 f. TCC (Graduação) - Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 6ª ed. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos Científicos. 2011.

NETTO, H. V. C. **Influência da temperatura de ensaio e de tratamento térmico na resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis austeníticos aisi 304 e aisi 316.** Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2009.

RAMANATHAN L.V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo, SP. Ed Hemus Ltda.

ROCHA, Cláudia Lisiane Fanezi da. **Influência das fases intermetálicas precipitadas a 780ºc em um aço uns s31803**. 2015. 69 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

VILLARES. **Aços Inoxidáveis.** Sumaré, Sp: Villares, 1990.

WOLYNEC, Sthephan. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. São Paulo: Edusp, 2002. 162 p.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTOS DE AÇO GALVANIZADO SOLDADOS PELO PROCESSO DE SOLDAGEM PONTO RSW

**Norberto Luís Segato**
**Willian Haupt**
**Leandro de Freitas Spinelli**
**Volmir Supptitz**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
129750@upf.br; williamhaupt@upf.br; leandro.spinelli@upf.br; volmir.supptitz@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo.*** *Aços revestidos são muito utilizados onde se pretende aumentar a vida útil dos produtos, mas nem sempre se conhece a agressividade do meio corrosivo ao qual está exposto e a resistência à corrosão do revestimento. Dentre os processos de manufatura aplicados aos aços revestidos está a soldagem por pontos RSW, que é afetada pela presença do revestimento. Na intenção de averiguar a resistência à corrosão de cinco aços com revestimentos superficiais diferentes, os quais são: aço comum com pintura primer, Galvalume, Escamado, Eletrolítico e Galvanneal, soldados pelo processo RSW, se planejou um ensaio de corrosão acelerado em câmara de névoa salina, conforme a Norma ASTM B – 117, para analisar a corrosão na solda, na superfície e na fresta. Para isso confeccionou-se amostras nas quais foram geradas imagens no estereoscópio e colocadas no ensaio de corrosão durante 252 horas ininterruptas. Após o ensaio, novamente foram geradas imagens com os resultados. A partir dos resultados analisados, nota-se uma região bastante crítica à corrosão no ponto de solda, corrosão por concentração diferencial nas frestas e ainda, ligeira diferença de resistência à corrosão entre os revestimentos.*

***Palavras Chave:*** *Ensaio de corrosão, Corrosão por frestas, Névoa salina, Galvanização, Corrente de soldagem.*

## 1. INTRODUÇÃO

A corrosão, como um todo, é uma grande preocupação para quem compra produtos que podem ser afetados por ela e também para quem os fabrica em função de sua durabilidade, bem como à imagem da empresa fabricante diante de seus consumidores. A corrosão traz transtornos de custos de manutenção por troca de produtos ou parte deles, por confiabilidade no caso de materiais que não podem romper ou se danificar pondo em risco vidas, e ainda, a questão ambiental de descarte de materiais comprometidos e produção de novos materiais (DUTRA e NUNES, 2011).

A corrosão é um dos principais fenômenos indesejáveis que ataca o aço e suas ligas. Dentro desse meio, o presente estudo se dedica a investigar a resistência à corrosão de alguns aços revestidos com zinco ou ligas contendo zinco. O aço possui facilidade de ligação metalúrgica com o zinco formando uma das combinações mais usuais no mundo todo (BATISTA, 2013). Os revestimentos superficiais no aço são aplicados sob a forma de imersão em zinco fundente (os chamados galvanização a fogo) com ou sem pós tratamento térmico, ou ainda, galvanização eletrolítica (por diferença de potencial ou eletrodeposição).

Os revestimentos superficiais representam ao longo da história um enorme avanço por proporcionar maior vida útil a praticamente todos os produtos da indústria moderna. Esses revestimentos, além do ganho, trouxeram algumas dificuldades nos processos de manufatura dentro da indústria. Uma dessas dificuldades, no caso de revestimentos metálicos sobre o aço, se encontra em processos de soldagem onde há a necessidade do rompimento da camada superficial com base em zinco que protege o material requisitando maiores energias e interagindo com a solda provocando falhas ou, até mesmo, impedindo que ela ocorra e seja eficiente. Há a dificuldade também na aplicação de pinturas de acabamento por acusa da aderência às tintas (VARGAS, 2006).

Tendo em vista o aumento da resistência à corrosão atmosférica de seus produtos, a indústria automobilística vem utilizando extensivamente aços com revestimentos superficiais metálicos em suas linhas de produção. Em seus produtos há o uso em massa do processo de soldagem RSW, por isso são enfrentadas dificuldades quanto à energia de soldagem para garantir a eficiência do processo. Além disso, ao atingir o ponto de fusão do material do corpo, que no caso é o

aço, todos os materiais do revestimento terão vaporizado deixando a superfície exposta novamente a ação corrosiva (MAGDALENA e SILVA, 2014).

Novos estudos têm sido feitos em pesquisa a materiais modernos que satisfaçam a questão da proteção à corrosão, e que também possibilitem o processo de soldagem RSW sem perder tantas propriedades. Destes estudos surgiram materiais como o G*alvanneal* e galvanizado eletrolítico com aspecto superficial de grão "minimizado". Estes materiais são de excelente soldabilidade e resistência à corrosão combinadas (ARCELORMITTAL, 2018).

No intuito de investigar a resistência à corrosão em cinco diferentes revestimentos superficiais, que são eles, 'Galvalume, *Galvanneal*, Eletrolítico, Escamado e pintura comum, utilizou-se da Norma ASTM B - 117 para a realização de um ensaio de aceleração de corrosão em amostras soldadas pelo processo RSW. Produziram-se seis corpos de prova para cada tipo de revestimento no intuito de se obter repetibilidade, e são locais onde a indústria em geral enfrenta problemas. Para a formação de peças ou estruturas é muito comum a união por juntas soldadas sobrepostas formando uma fresta onde pode ocorrer o acúmulo de agentes corrosivos oriundos da atmosfera ou meio corrosivo ao qual está exposto. No ponto de solda há uma exposição maior do corpo do material, podendo este, iniciar uma corrosão muito antes do previsto. Por fim, a superfície em geral ficando exposta à atmosfera agressiva sofre com a ação das intempéries degradando seu revestimento superficial (SANTOS, RODRIGUES e DICK, 2013).

Ao final do ensaio é possível adotar os conhecimentos adquiridos a fim de seleção de materiais para finalidades específicas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo do estudo se deteve em comparar a resistência à corrosão entre diferentes tipos de revestimentos de aço galvanizados, soldados pelo processo RSW, na região do ponto de solda, na superfície e na fresta, com intuito de aprimorar o conhecimento na área, gerar informações que possibilitem a seleção de materiais apropriados para cada finalidade e contribuir com o conhecimento tecnológico.

Para isso, foram selecionados os materiais que serviram de apoio à experimentação. São eles:

- Material 1 - **Aço carbono comum** SAE-J403-14-1008, com um revestimento de esmalte sintético tipo *primer*, que é uma pintura de fundo apenas de proteção inicial sem aplicação de acabamento;
- Material 2 - **Aço revestido Galvalume**, AZ ASTM A79, popularmente chamado de "aluzinco". Possui um revestimento composto por 55% alumínio, de 43,5% de zinco e 1,5% de silício, aplicado por imersão a quente em linha de galvanização contínua, formando uma matriz metálica na superfície do material com posterior tratamento de redução do tamanho do grão superficial do revestimento (ARCELORMITTAL, 2018);
- Material 3 - **Aço galvanizado** a quente do tipo **"ESCAMADO"**, que é um revestimento galvanizado a quente muito parecido com o galvalume, porém o revestimento sem composição de alumínio e aspecto visual superficial tipo "flor" ou escamado (grão maximizado), muito utilizado em coberturas na forma de telha metálica e em tubos nas treliças;
- Material 4 - **Aço galvanizado Eletrolítico** USIGALVE-ESQ-4560. O revestimento é aplicado através de uma diferença de potencial elétrica provocando eletrodeposição do zinco na superfície do aço;
- Material 5 – **Aço *Galvanneal***, USIGAL-GA-TB-N03, é um aço galvanizado em linha contínua a quente com pós tratamento térmico de recozimento que provoca a difusão do ferro proveniente da chapa de aço na camada de revestimento.

O efeito das espessuras das amostras foi desconsiderado para este trabalho, pois não faz parte do objeto principal de estudo e não interfere no resultado dos dados coletados. Mas para fins de conhecimento, as espessura das amostras foram 0.45, 0.43, 0.43, 0.43, e 1.00 milímetros, do material 1 ao material 5, respectivamente.

O estudo seguiu a metodologia apresentada no Fluxograma da Figura 1. Nele está explícita a ordem de execução do trabalho.

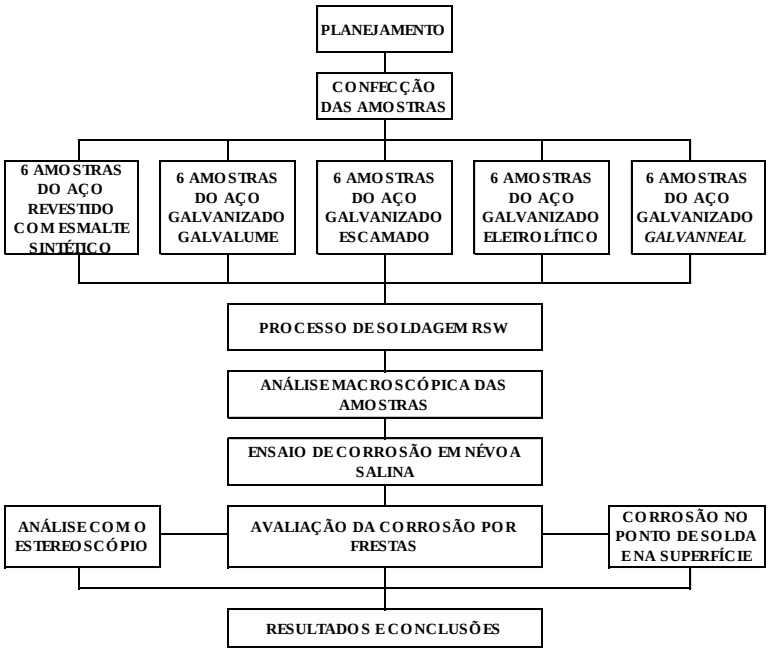



Figura 1– Planejamento metodológico para a análise experimental.

A fim de produzir replicidade foram confeccionadas seis amostras para cada tipo de material, as quais passaram pelo processo de soldagem por pontos RSW. Cada amostra foi fabricada em duas partes, e no momento da soldagem se planejou uma união para que juntas formem uma fresta intencional (objeto de estudo). Segundo Nunes (2007), nas frestas há a formação de pilha de aeração diferencial ou pilha de concentração diferencial, dependendo do mecanismo de corrosão associado a ela. Para atender aos requisitos do estudo, tem-se na Figura 2, o projeto das amostras com formação de fresta, com soldagem por pontos pelo processo RSW e área superficial exposta.

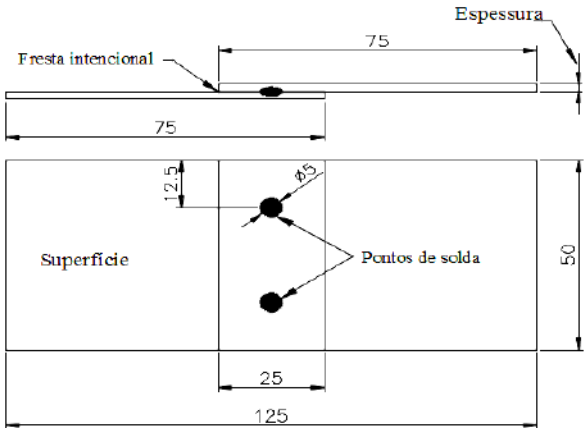



Figura 2 – Projeto das amostras (todas as medidas em milímetros).

Para o processo de soldagem por pontos RSW, a soldagem foi realizada em ponteadeira de solda da marca CASENOTE, modelo 023-MRSW, com capacidade de potência do transformador de 75 kVArh e fonte de tensão de 380 Volts, com comando eletrônico digital automático, e com eletrodos de cobre-berílio, disponível na Indústria Mecal Portas e Janelas de Aço LTDA.

Para a geração das imagens dos efeitos da corrosão na superfície, no ponto de solda e na fresta, utilizou-se do estereoscópio da marca ZEIZZ, modelo STEMI 2000-C, disponível no laboratório de materiais da Universidade de Passo Fundo – UPF.

Para o desenvolvimento do ensaio de corrosão acelerada em câmara de névoa salina tomou-se por base a norma ASTM B – 117, que simula a ação de intempéries nos materiais. O aparelho para o ensaio é composto de uma câmara de névoa, um reservatório de solução salina, um suprimento de ar comprimido, bicos, suporte de amostras, provisão para aquecimento da câmara e meios necessários de controle conforme a Norma ASTM B – 117. A câmara utilizada no ensaio é da marca BASS EQUIPAMENTS LTDA, modelo USC-ISO-PLUS-i-03/2011, disponível no laboratório da Universidade de Passo Fundo – UPF.

A solução salina a qual as amostras de aço revestido ficaram expostas foi composta de cinco partes em massa de cloreto de sódio (NaCl) em 95 partes em água, conforme o item 8 - Solução Salina da Norma ASTM B – 117. O pH da solução medido foi de 6,8 sendo que deve estar na faixa de 6,5 a 7,2 e a temperatura de 33 °C, obedecendo a temperatura de 35 °C ±2°C.

O ensaio teve duração de 252 horas. Segundo GalvoInfoCenter (2011), o tempo aproximado para o surgimento de ferrugem vermelha (que é quando a camada de revestimento já teria sido consumida) em aços com revestimento pelo processo de imersão a quente é de 10 horas por µm de revestimento, sendo os revestimentos em torno de 20 µm.

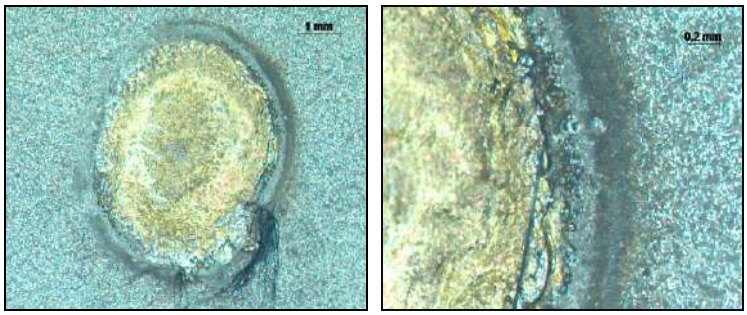
### 2.1 Ensaio

No momento da confecção das amostras, foi registrada junto ao comando eletrônico de solda a intensidade de corrente (Ampéres) que cada tipo de revestimento solicitou para produzir a soldagem. Esses valores estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Intensidade de corrente.

| **Intensidade de corrente medida no momento da soldagem em ampéres (A)** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Aço carbono comum | Aço Galvanizado Galvalume | Aço Galvanizado Escamado | Aço Galvanizado Eletrolítico | Aço Galvanizado Galvanneal |
| 38 | 85 | 82 | 70 | 51 |

Com o uso do estereoscópio foram geradas imagens da região do ponto de solda, superfície e frestas, as quais eram regiões de interesse. Na Figura 3 se podem observar imagens das regiões de interesse feitas numa amostra do aço galvanizado *Galvanneal* pronta para o ensaio.



(a) (b)

Figura 3 – (a) Ponto de solda, lente objetiva com 12,5x de aumento, (b) interface solda/superfície, lente objetiva com 50x.

Após as imagens em estereoscópio as amostras foram colocadas na câmara de névoa salina onde ficaram expostas ao meio induzido durante 252 horas contínuas. Não houve interrupção do ensaio, apenas a câmara foi aberta a cada 24 horas durante alguns segundos para a verificação do início de corrosão.

As amostras foram penduradas de maneira que não formassem refluxo de gotas de água e foram inclinadas em torno de 10° graus ficando com a face exposta de acordo com a Norma ASTM B – 117.

Decorridos 252 horas de ensaio, a câmara foi desligada e as amostras removidas para análise e coleta de dados. As mesmas foram lavadas em água corrente fraca para somente retirar o excesso de sal proveniente da exposição à névoa salina. Com isso, foram geradas as imagens no estereoscópio para avaliar o avanço da corrosão.

Por fim, para a análise das frestas, foi necessário remover o ponto de solda de algumas amostras para analisar o interior delas. Do mesmo modo que na superfície e no ponto de solda, foram geradas imagens para posterior análise de corrosão.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Início da corrosão

A partir do início do ensaio de corrosão fez-se um acompanhamento diário para identificar o início da corrosão em cada revestimento. Como esta também é uma forma de comparação entre materiais, é de grande valia saber qual o período que cada um dos revestimentos suporta até seu início corrosivo. Para isso montou-se tabelas com os materiais e as regiões de interesse, e como critério adotou-se a percepção a olho nu com intervalo de 24 horas a cada observação. Os resultados estão na Tabela 2, Tabela **3** eTabela **4**.

Tabela 2 - Horário de início de corrosão no ponto de solda em cada material.

| Início de corrosão no PONTO DE SOLDA em horas de exposição das amostras | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MATERIAL | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 | 192 | 216 | 240 | 264 |
| Aço Comum | | | | Corrosão vermelha | | | | | | | |
| Galvalume | | | | | Corrosão vermelha | | | | | | |
| Escamado | | | | | Corrosão vermelha | | | | | | |
| Eletrolítico | | | | Corrosão vermelha | | | | | | | |
| Galvanneal | | | | Corrosão vermelha | | | | | | | |

Tabela 3 - Horário de início de corrosão na superfície em cada material.

| Início de corrosão na SUPERFÍCIE em horas de exposição das amostras | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MATERIAL | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 | 192 | 216 | 240 | 264 |
| Aço Comum | | | Corrosão vermelha | | | | | | | | |
| Galvalume | | | | | | | | | | Corrosão branca | |
| Escamado | | | | | | | | | | Corrosão branca | |
| Eletrolítico | | | | | | | | | Corrosão branca | | |
| Galvanneal | | | | Corrosão branca | | | Corrosão vermelha | | | | |

Tabela 4 - Horário de início de corrosão na borda da fresta em cada material.

| Início de corrosão na BORDA DA FRESTA em horas de exposição das amostras | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MATERIAL | 24 | 48 | 72 | 96 | 120 | 144 | 168 | 192 | 216 | 240 | 264 |
| Aço Comum | | | Corrosão vermelha | | | | | | | | |
| Galvalume | | | | | | | Corrosão branca | | | | |
| Escamado | | | | | | | Corrosão branca | | | | |
| Eletrolítico | | | | | | | Corrosão branca/vermelha | | | | |
| Galvanneal | | | | | Corrosão branca/vermelha | | | | | | |

Nos pontos de solda, todos os materiais apresentaram corrosão vermelha formando óxido de ferro $Fe_2O_3$ e com um intervalo de um dia entre todas as amostras. Na superfície, o aço comum pintado apresentou corrosão vermelha já nas primeiras 72 horas. O aço Galvanneal com 96 horas apresentou corrosão branca e logo às 144 horas, corrosão vermelha mostrando que o avanço da corrosão chegou à matriz metálica de ferro em alguns pontos. Os aços Eletrolítico, Galvalume e Escamado resistiram quase até o final do ensaio sem corrosão superficial, apenas de 200 horas de exposição em diante apresentaram a formação de óxido de zinco e uma camada de corrosão branca (carbonato de zinco). Na fresta, os aços Galvanneal e aço comum pintado mostraram ligeiro início de corrosão na borda com acúmulos de eletrólitos provenientes de corrosão por concentração diferencial em meio úmido ou aquoso com 120 horas de exposição, enquanto os aços Galvalume, Escamado e Eletrolítico, em 168 horas.

### 3.2 Corrosão no ponto de solda

Como se pode observar nos dados coletados na Tabela 2 anterior, a região do ponto de solda é a região mais crítica para o início de corrosão, onde quase todos os materiais começaram a oxidação nesse local ao mesmo tempo, com no máximo 24 horas de intervalo entre o início da corrosão do primeiro material e o início da corrosão no último. Segundo Gentil (2011), nos locais onde o material foi afetado ou modificado pela ação da solda, há uma maior suscetibilidade à corrosão e ela se processa intergranularmente. Além do mais, o revestimento de zinco foi totalmente vaporizado na região do ponto no momento da soldagem, deixando o material nesse local totalmente desprotegido, já que o ponto de fusão do zinco é de ±420 °C, e para a soldagem pelo processo RSW, a temperatura no ponto de solda varia de 900 °C a 1300 °C (MAGDALENA e SILVA, 2014). Como não há mais a presença de zinco, a corrosão que surge nesse local é a corrosão vermelha, onde há a reação do oxigênio na presença de umidade com o ferro formando óxido de ferro $Fe_2O_3$.

As imagens da Figura 4 retratam o ponto de solda antes e depois do ensaio de corrosão acelerada de 252 horas. Pode-se observar nas imagens à direita que há corrosão vermelha em todos os pontos.

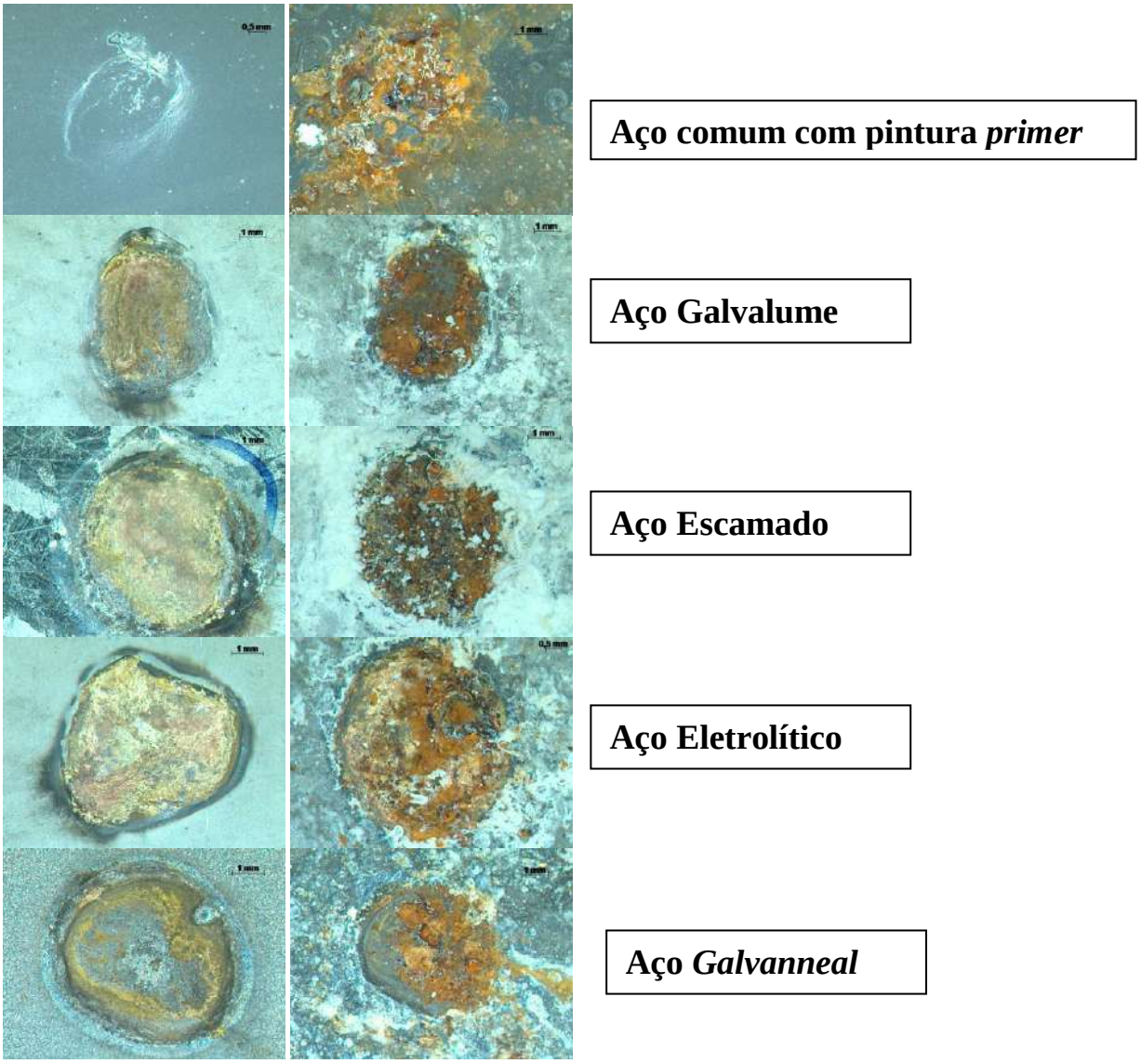



Figura 4 – Imagens do ponto de solda antes e depois do ensaio. Imagens geradas no estereoscópio com lente objetiva de 12,5 vezes de aumento.

Não há uma uniformidade na corrosão vermelha no ponto de solda devido à formação de latão em algumas regiões do ponto no momento da soldagem. Isso se dá devido à reação da camada de revestimento de zinco com o cobre do eletrodo em alta passagem de corrente elétrica. O latão impregnado na região da superfície não se desprende do material e tem menor suscetibilidade à corrosão em névoa salina, fazendo o papel de barreira anticorrosiva (AMARAL, ALMEIDA, et al., 2018). Nas imagens à esquerda da Figura 4 acima se pode ver a coloração amarelada de latão formada na superfície, e nas imagens à direita, algumas regiões onde ela acabou formando uma barreira protetiva à corrosão.

### 3.3 Corrosão na superfície

Em relação à superfície, observa-se grande variação do período de início de corrosão em cada material. Subentende-se que quanto mais revestimento maior é a resistência à corrosão. Verifica-se isso no aço carbono comum, o qual foi o primeiro a apresentar corrosão em sua superfície (apenas 72 horas), já que o revestimento aplicado foi somente um banho em tinta primer sintética. O aço Galvalume e o aço Escamado tiveram seu início de corrosão praticamente no final do ensaio, já decorridas 240 horas de exposição. Segundo Arcelormittal (2018), no caso do aço Galvalume, a resistência à corrosão se deve a combinação do revestimento composto por alumínio e zinco, onde o alumínio serve como metal de barreira e o zinco como metal de sacrifício. O aço Galvanneal, pelo fato de sua camada superficial de revestimento ser bastante reduzida para facilitar a soldagem, iniciou sua corrosão decorridas 96 horas.

Américo (2016) encontrou resultados parecidos no ensaio de Salt Spray, onde amostras do aço galvanizado Galvalume ultrapassaram 192 horas de exposição sem corrosão superficial. Já amostras dos aços zincados tratados pelo autor como GI (*Galvanneal*), apresentaram corrosão em 96 horas de exposição.

Ao ser exposta a uma atmosfera úmida e confinada, no caso aplicado o ensaio de névoa salina, a condensação da umidade saturada e ácido carbônico ($H_2CO_3$) atacam o zinco e impedem que haja a oxidação natural (passivação), que daria ao aço uma proteção. Neste caso há a formação de um produto de corrosão sob a forma de pó com uma cor cinza-clara nas regiões atacadas do zinco. Este produto não protege o aço contra a sua corrosão, pois não é aderente e é conhecido como corrosão ou oxidação branca do aço Galvanizado (AMÉRICO, 2016).

As imagens das Figura 5 a Figura 9 retratam as amostras antes e depois do ensaio em relação ao aspecto visual superficial da corrosão.

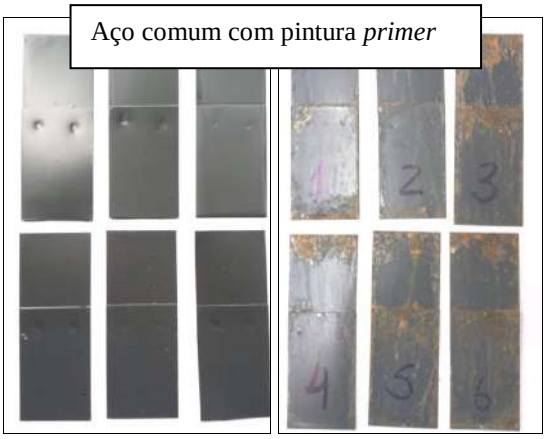



Figura 5 – Imagens antes e depois do aço comum.

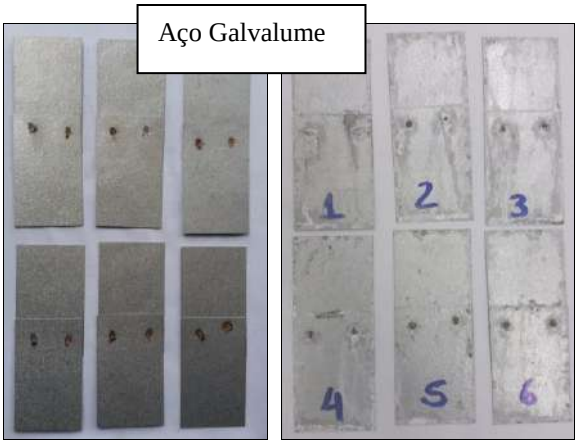



Figura 6 - Imagens antes e depois do aço Galvalume.

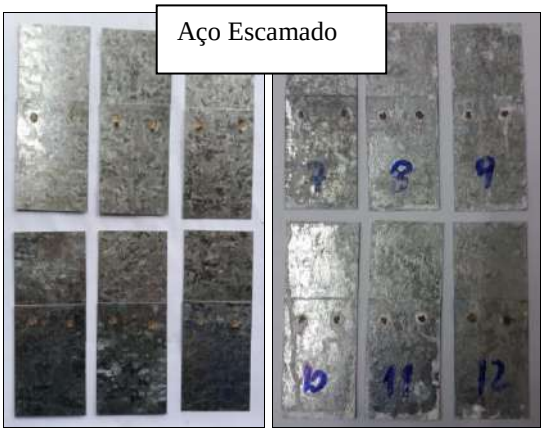



Figura 7 - Imagens antes e depois do aço Escamado.

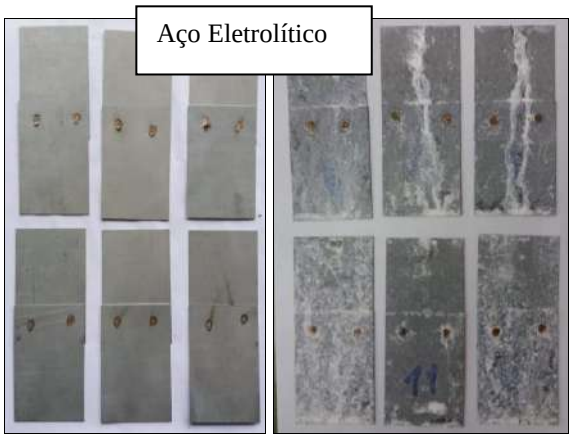



Figura 8 - Imagens antes e depois do aço Eletrolítico.

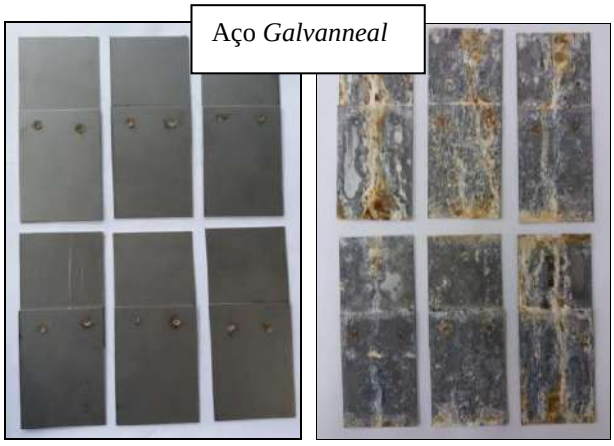



Figura 9 - Imagens antes e depois do aço Galvanneal.

No aço comum percebe-se a agressividade da atmosfera condicionada às amostras, sendo que há corrosão avançada sobre a superfície praticamente em todas elas. Isso mostra a necessidade de um revestimento metálico com base em zinco formando uma proteção catódica, visto que a pintura somente se mostra ineficiente.

Os aços Galvalume, Escamado e Eletrolítico mostraram comportamento razoável diante da névoa salina, sendo que formaram alguns indícios de corrosão branca em estado inicial sem atingir a matriz de ferro. Essa corrosão foi identificada a partir das 200 horas de exposição e o aço Galvalume se mostrou mais eficiente.

O aço Galvanneal foi praticamente tomado por corrosão branca e em vários pontos de sua superfície há o surgimento de corrosão vermelha, mostrando que o material da matriz de ferro foi atingido formando óxido de ferro $Fe_2O_3$. Demonstrou ser um material intermediário de resistência à corrosão, onde combinado com pintura de acabamento possa fornecer uma resistência maior, justificando seu uso pela indústria por aceitar mais facilmente a pintura e permitir uma soldagem mais eficiente.

### 3.4 Corrosão nas frestas

Nas frestas, em meio bastante úmido ou aquoso ocorre a pilha de concentração diferencial com formações mais avançadas de corrosão na borda da fresta. E, em meio gasoso, ocorre a pilha de aeração diferencial onde a corrosão ocorre no interior da fresta (NUNES, 2007). No presente trabalho ouve a formação de pilha de concentração diferencial onde as amostras tiveram tendência de formação de corrosão nas bordas das frestas em direção ao seu interior. Isso se deve à exposição a uma névoa relativamente densa de umidade a ponto de condensar diversas partículas de névoa salina e elas se aderirem nas amostras deixando-as molhadas.

Segundo Tridapalli (2011), inicialmente há a corrosão tanto no interior da fresta quanto na borda, acumulando íons metálicos em seu interior. Esses íons acabam formando um efeito galvânico, e como resultado, as bordas corroem mais rapidamente. As próximas figuras retratam as frestas obtidas nas amostras e os respectivos avanços de corrosão e suas peculiaridades. Para a obtenção delas, os pontos de solda foram removidos e as peças separadas.

No aço comum, o banho em primer foi efetuado quando as amostras já estavam soldadas. Dessa forma, ficaram algumas regiões da fresta sem a presença da película protetora de tinta, ocasionando a corrosão imediata. A corrosão surgida na Figura **10**, tem características de ser formada por pilha de concentração diferencial, onde a corrosão está presente nas bordas com leve avanço para o meio da fresta.




Figura 10 – Fresta do aço comum.




Figura 11 - Fresta do aço Galvalume.




Figura 12 - Fresta do aço Escamado.

Os aços Galvalume e Escamado tiveram comportamentos semelhantes quanto à fresta, porém, mostrando superioridade em relação ao aço com pintura primer, e oferecendo proteção catódica ao material. Praticamente inatacados, apenas com algumas bordas com acúmulo de corrosão branca supondo que ali iniciaria uma corrosão por pilha de concentração diferencial. O aço Galvalume e o aço Escamado estão nas Figura 11 Figura 12.

O aço Eletrolítico, Figura 13, bem como o aço Galvanneal, Figura 14, apresentaram início de corrosão na borda das frestas devido à sobreposição de chapas, com um leve avanço para o seu interior. Nota-se no aço Galvanneal uma pequena formação de corrosão vermelha, supostamente pelo estado do avanço da corrosão onde boa parte do zinco do revestimento ter sido transformado em óxido, deixando o ferro exposto à corrosão. Em ambas as amostras, há indícios de formação de pilha de concentração diferencial pelo estado das bordas das frestas.

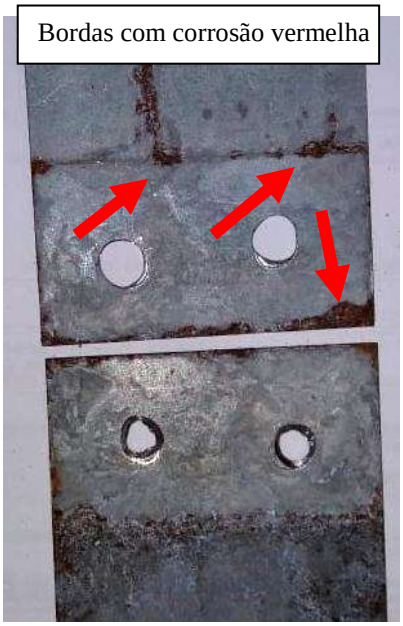



Figura 13 – Fresta do aço Eletrolítico




Figura 14 – Fresta do aço Galvanneal

### 3.5 Análise da proteção da corrosão

Em aços com revestimento metálico com base em zinco, a proteção ocorre através da troca galvânica entre o aço e o zinco, aumentando a vida útil fazendo com que o produto possa ser utilizado em atmosferas mais agressivas (AMÉRICO, 2016). Quando se tem um local na superfície do material danificado, transformado por um processo de produção, soldagem ou conformação, tem-se certa vulnerabilidade à corrosão nesse ponto.

No ponto de solda e nas regiões próximas de um aço eletrolítico, por exemplo, podem-se ter quatro situações com características diferentes em cada uma delas. Na Figura 15, na situação 1 há um escurecimento da superfície causada pela oxidação natural (passivação), que garante ao aço uma resistência à corrosão. Ali, ocorre a proteção catódica, onde o zinco funciona como metal de sacrifício cedendo elétrons para o ferro presente no aço, formando uma região levemente escurecida por uma película estabilizada à corrosão. Essa película é o carbonato básico de zinco, filme cinza fosco, cristalino, aderente, duro e impermeável à água, responsável pela resistência a corrosão (ROS, 2008).

Na situação 2 tem-se uma região do ponto de solda onde o zinco foi totalmente vaporizado no processo, surgindo a corrosão vermelha. Na região 3, há a interface ponto de solda/superfície, onde o zinco da superfície ofereceu proteção até onde "alcançou" ao ponto de solda, porém, a condensação da umidade saturada de sal e ácido carbônico durante o ensaio fez formar-se um produto de corrosão em forma de pó branco. A região 4 não é um objeto de estudo deste trabalho, mas vale destacar a formação de latão (coloração amarelada) como resultado da reação do eletrodo de cobre da soldagem RSW com o zinco da chapa.

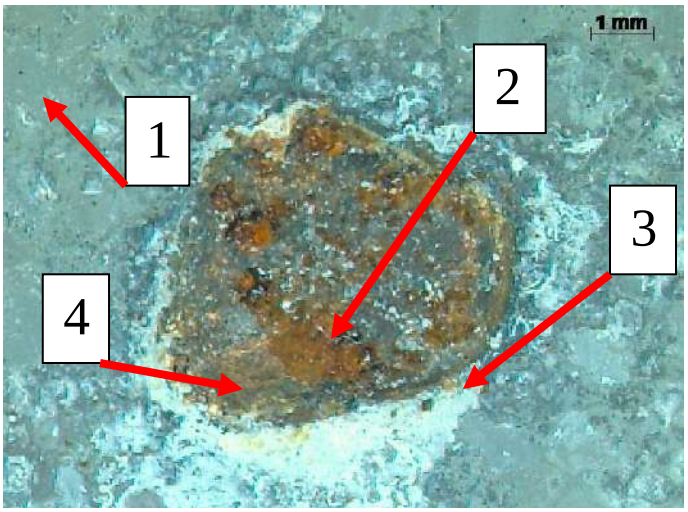



Figura 15 – Regiões com diferentes características no aço Eletrolítico.

## 4. CONCLUSÕES

De forma sucinta e relativa aos resultados obtidos, pode-se concluir que o ponto de solda é a região mais suscetível à corrosão em aços revestidos pelo fato da ausência do revestimento em função do processo de soldagem, necessitando de atenção quanto à execução de projetos.

Forma-se corrosão branca até que se oxida todo o zinco do revestimento, e dependendo da agressividade da atmosfera a qual está exposta, após surge corrosão vermelha com o aço sendo atacado aos poucos.

Ocorre uma espécie de passivação na superfície do aço galvanizado (comum aos aços inoxidáveis) no início da corrosão, chamada de corrosão natural, que ajuda no retardamento da degradação do revestimento.

Por causa da atmosfera muito úmida forma-se corrosão por concentração diferencial nas frestas, atacando primeiramente as bordas pelo efeito galvânico e, com o tempo, direcionando-se para o interior das mesmas.

No aço comum percebe-se a agressividade da atmosfera condicionada às amostras, sendo que há corrosão avançada sobre a superfície praticamente em todas elas e em todos os pontos. Isso mostra a importância de um revestimento metálico com base em zinco formando uma proteção catódica, visto que a pintura somente se mostra ineficiente.

O aço eletrolítico foi o que se melhor observou a camada passiva (corrosão natural) protegendo o aço formando uma película escura.

O aço *Galvanneal*, que é uma alternativa na substituição aos aços de difícil soldagem na linha automobilística, demonstrou resultados de resistência à corrosão bem inferiores se comparados aos demais. Como esse material é aplicado combinado com pinturas, talvez possa fornecer uma resistência maior, justificando o seu uso pela indústria.

Observando o tempo de início de corrosão, nota-se uma larga vantagem de resistência dos aços Galvalume e Escamado em relação aos demais.

De acordo com a tabela de corrente elétrica necessária para a soldagem, quanto mais intensidade de corrente o revestimento solicitou para uma soldagem eficiente, mais resistente à corrosão ele se comportou.

Aços galvanizados são uma excelente alternativa para substituir aços comuns em atmosferas agressivas, porém, deve-se tomar cuidado com o tipo de agressividade da atmosfera e também com a seleção do material adequado.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, F. F. et al. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para otimização do processo de solda a ponto no aço galvanizado AISI 1006. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 14. 2018.

AMÉRICO, R. EFEITO DA CONFORMAÇÃO MECÂNICA NA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DOS AÇOS NBR7008 ZC/Z275 E GALVALUME E ASTM A792 CSB/AZM150. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre, p. 79. 2016.

ARCELORMITTAL. ArcelorMittal, 2018. Disponivel em: <http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/revestidos-imersao-quente/galvalume/index.asp>. Acesso em: 20 Outubro 2018.

BATISTA, K. B. Caracterização de superfícies de aços galvanizados utilizando a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 93. 2013.

DUTRA, A. C.; NUNES, L. D. P. Poteção catódica: Técnica de combate à corrosão. 5ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 344 p. ISBN 9788571932548.

GALVINFOCENTER. GalvInfo Center - Um programa do International Zinc Association, 2011. Disponivel em: <http://www.icz.org.br/site/pdf/galvanizacao/GalvInfoNote_3_4.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2018.

GENTIL, V. Corrosão. 6ª Edição. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 360 p. ISBN 9788521618041.

MAGDALENA, F. D. S.; SILVA, V. F. A. D. Análise simulatória do processo de soldagem a ponto por resistência em união de chapas de aço baixo carbono do tipo intersticial free. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, p. 88. 2014.

NUNES, L. D. P. Fundamentos da resistência à corrosão. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2007. 330 p. ISBN 9788571931626.

ROS, M. M. Grupo Gravia, 2008. Disponivel em: <https://www.gravia.net.br/grupo/noticias/corrosao-em-aco-zincado-e-seus-mecanismos-de-protecao>. Acesso em: 29 abril 2018.

SANTOS, Á. P. D.; RODRIGUES, J. D. S.; DICK, L. F. P. Estudo comparativo da resistência à corrosão de aços revestidos pelos processos de galvanização a fogo, Galvanealing e galvalume. Biblat - Bibliografia Latino Amenricana, Charqueadas, Julho - Setembro 2013. 7.

TRIDAPALLI, C. W. Estudo comparativo de metodologias de ensaios acelerados de corrosão por frestas nas ligas de aço inox AISI 430 e AISI 304. Universdidade Federal e Santa Catarina. Florianópolis, p. 118. 2011.

VARGAS, J. E. Estudo da formação, geometria e resistência do ponto na soldagem por resistência: Uma abordagem estatística. Universidade de Brasília. Brasília, p. 143. 2006.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DA CORROSÃO EM AMOSTRAS DE AÇO SAE 4340 SUBMETIDAS A DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS

**Renata Rech de Souza**
**Lucas Marmentini**
**Guilherme Vieira Braga Lemos**
**Arthur Bortolin Beskow**
**Diógenes Dal Magro**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, RS
renatarechdesouza@gmail.com, lucasmarmentini1@hotmail.com, guilhermelemos@uricer.edu.br, arthur@uricer.edu.br, diogenesdal@gmail.com

***Resumo:*** *A vasta aplicação do aço SAE 4340 na indústria cabe à sua capacidade de temperabilidade, boa tenacidade e elevada resistência mecânica. Na prática, este aço é muitas vezes tratado termicamente, fato que tende a ocasionar tensões residuais na sua estrutura. Assim, é importante avaliar o seu comportamento quando exposto a meios corrosivos. Neste contexto, o presente estudo avaliou a relação existente entre os tratamentos térmicos, aos quais o aço SAE 4340 foi submetido, e a resistência à corrosão (avaliada através da perda de massa do material). Para tanto, amostras de aço SAE 4340 foram submetidas aos tratamentos de recozimento, têmpera e revenimento e posteriormente imersas em solução NaCl 10% durante 50 dias. Por fim, identificou-se maior perda de massa nas peças temperadas, fato que pode estar relacionado a elevadas tensões residuais.*

***Palavras chave****: SAE 4340, corrosão, NaCl, tratamentos térmicos, microestrutura, perda de massa.*

## 1. INTRODUÇÃO

O aço SAE 4340 é comercializado como um aço de alta resistência e, sendo assim, é utilizado em aplicações estruturais críticas como na indústria aeroespacial e de energia nuclear (Barros *et al.*, 2015). Além disso, é possível destacar nesse aço características como elevada dureza, ductilidade, resistência mecânica, boa soldabilidade e alta resistência à fadiga, o que o faz ser empregado em condições sujeitas a cargas elevadas (Anazawa *et al.*, 2012).

Em razão das propriedades mecânicas desejadas para cada aplicação, as transformações de fases por meio de tratamentos térmicos desempenham papel fundamental na obtenção das microestruturas (Barros *et al.*, 2015). A microestrutura resultante dessas transformações pode apresentar apenas uma fase ou ser mista, apresentando duas ou mais fases. Em geral, estruturas de aços são produzidas quando o aço é elevado a temperatura acima da temperatura de austenitização e lentamente resfriado sob condições de equilíbrio. Este tipo de tratamento, podendo ser o recozimento ou normalização, produz uma estrutura com baixos níveis de tensões residuais. No entanto, entre as propriedades comumente desejadas com a realização de tratamentos térmicos estão maior resistência mecânica e dureza, geralmente acompanhadas por altos níveis de tensões residuais (Totten, 2006).

As diferentes características apresentadas por cada material são consequência das diferentes combinações microestruturais (Barros *et al.*, 2015). Isto é, devido às aplicações do aço SAE 4340, faz-se necessário muitas vezes que o mesmo passe por tratamentos térmicos. O recozimento tem por objetivo diminuir a dureza, aumentar a ductilidade, padronizar a estrutura e eliminar o efeito de qualquer tratamento térmico ou mecânico que tenha sido aplicado ao aço anteriormente. Por outro lado, a têmpera tem por objetivo fundamental nas ligas de ferro-carbono, produzir uma estrutura martensítica por meio de aquecimento até a temperatura de austenitização seguido de resfriamento rápido. O revenimento por sua vez, visa corrigir a excessiva dureza e consequente fragilidade do aço gerada pela têmpera, melhorando a ductilidade e resistência ao choque (Chiaverini, 2012).

É importante ressaltar que, segundo Fry (*apud* Martins, 2004), as tensões residuais são aquelas que permanecem em um componente na ausência de forças externas e/ou gradientes de temperatura. Isto é, um melhor desempenho dos materiais frente às agressividades do meio externo, bem como a redução de falhas por fadiga podem ser alcançadas por meio das tensões residuais benéficas (ou compressivas). Porém, em uma linha de manufatura, as tensões residuais também podem gerar distorções no componente (Martins *et al.*, 2004). Segundo Oliveira *et al.* (2011), os tratamentos térmicos acabam modificando a estrutura do material, induzindo assim algum tipo de tensão residual na peça.

Segundo Gentil (2007), a corrosão é definida pela deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente (aliada ou não a esforços mecânicos). O fenômeno mais corriqueiro que ocorre na corrosão é a oxidação, que consiste na tendência do ferro em combinar-se com o oxigênio gerando óxido de ferro. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio pode estimular a oxidação, ocasionando alterações prejudiciais e indesejáveis ao material como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o muitas vezes inadequado para o uso.

Assim, tendo em vista a influência das tensões residuais nas propriedades do material e a importância de evitar a corrosão, o estudo de como as variações de tensões residuais se correlacionam com a corrosão dos metais torna-se importante para que falhas prematuras sejam evitadas (Merlo *et al.*, 2011). Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a perda de massa por corrosão em amostras de aço SAE 4340 submetidas a diferentes tratamentos térmicos e, posteriormente, imersas em solução de 10% de NaCl durante 50 dias. Por fim, correlacionar cada tratamento térmico e a resistência à corrosão, além de avaliar a perda de massa das amostras.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A resistência à corrosão do aço SAE 4340 é influenciada pelo conjunto de elementos de liga presentes em sua composição. A composição química das amostras ensaiadas, bem como os valores recomendados pela norma A29 da ASTM (2006), podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço SAE 4340.

| SAE 4340 | % C | % Cr | % Mn | % Mo | % Ni | % P | % S | % Si |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Norma | 0.38-0.43 | 0.7-0.9 | 0.6-0.8 | 0.2-0.3 | 1.65-2 | 0.035 | 0.04 | 0.15-0.3 |
| Estudo | 0.389 | 0.705 | 0.624 | 0.173 | 1.67 | 0.0169 | 0.006 | 0.163 |

De forma a avaliar a influência da corrosão sobre a perda de massa em amostras de aço SAE 4340 submetidos a diferentes tratamentos térmicos, nove corpos de prova foram preparados e divididos em três grupos. Os corpos de prova são oriundos de uma barra cilíndrica de 1" de diâmetro, cada um deles apresentando 5 mm de espessura.

A partir disso, foram realizados os tratamentos térmicos, sendo que:

- 3 corpos de prova foram submetidos ao recozimento pleno;
- 3 corpos de prova foram temperados;
- 3 corpos de prova foram submetidos a revenimento.

Os tratamentos térmicos aplicados aos corpos foram realizados da seguinte forma:

- Recozimento pleno: aquecimento a 900 ºC seguido de resfriamento lento;
- Têmpera: austenitização a 900 ºC seguido de resfriamento brusco com agitação em água à temperatura ambiente;
- Revenimento: Aquecimento a 180 ºC durante uma hora seguido de resfriamento em temperatura ambiente.

Após a realização dos tratamentos térmicos nos corpos de prova, realizou-se a medição da dureza Rockwell em cada peça, tendo assim uma média da dureza obtida no centro e nas extremidades de cada peça. Os valores obtidos para as médias das durezas medidas estão apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Média das durezas medidas nos corpos de prova após os tratamentos térmicos.

| Tratamento térmico | Dureza Rockwell |
|---|---|
| Recozimento | 23,1 HRC |
| Têmpera | 57,4875 HRC |
| Revenimento | 50,3125 HRC |

Para o experimento de corrosão, foram utilizados recipientes de vidro, um para cada amostra, os quais foram selados de forma a evitar o contato com o meio externo. A Figura 1 mostra o recipiente onde as amostras foram colocadas em meio a uma solução de 100 ml água destilada com uma concentração de 10% de NaCl, sendo que, previamente, mediu-se a massa de cada amostra e o resultado dessa medição inicial está apresentado na Tabela 3.



Figura 1. Recipiente de vidro utilizado.

Tabela 3. Massa dos corpos de prova antes do experimento.

| | **Corpo de prova** | **Massa bruta (g)** |
|---|---|---|
| **Recozido** | CP1 | 18 |
| | CP2 | 19 |
| | CP3 | 19 |
| | **Corpo de prova** | **Massa bruta (g)** |
| **Temperado** | CP1 | 20 |
| | CP2 | 19,96 |
| | CP3 | 20 |
| | **Corpo de prova** | **Massa bruta (g)** |
| **Revenido** | CP1 | 19,99 |
| | CP2 | 19,95 |
| | CP3 | 19,97 |

O período de permanência das amostras neste ambiente corrosivo foi de 50 dias. Após esta etapa, as amostras foram retiradas da solução, escovadas para remoção do produto de corrosão e, posteriormente, a massa das mesmas foi medida novamente. Após identificada a perda de massa em cada corpo de prova foi possível relacionar a perda de massa decorrente da corrosão ao tratamento térmico realizado.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em um primeiro momento, de acordo com a análise química, percebeu-se que a quantidade de molibdênio se encontrou abaixo do recomendado por norma. Em geral, este elemento é utilizado nos aços de forma a substituir o tungstênio, que por sua vez forma carbonetos aumentando a dureza do aço. Quando em teores elevados, o molibdênio pode melhorar consideravelmente a resistência ao desgaste (Chiaverini, 2012). Para o caso do silício, este apresentou valores de acordo com a norma, porém com valor próximo do mínimo. Se combinado com manganês ou molibdênio, o silício pode produzir maior endurecimento dos aços, podendo diminuir significativamente o efeito da corrosão sobre tensão em aços austeníticos cromo-níquel. Nos tratamentos térmicos, o silício é um importante elemento de liga, aumentando a temperabilidade, e a resistência ao desgaste (Totten, 2006). Entretanto, os principais responsáveis por promover resistência a corrosão neste aço é a ligação de cromo, níquel e molibdênio, que pode aumentar a temperabilidade do aço (Silva *et al.*, 2010).

Observou-se que a maior perda de massa ocorreu nos corpos de prova submetidos à têmpera. Tal resultado deve-se ao fato de que esse tratamento térmico resulta em elevadas tensões residuais no material, tensões essas que facilitam a ação da corrosão sobre o mesmo.

Da mesma forma, os corpos de prova que apresentaram a menor média para a perda de massa foram aqueles submetidos ao recozimento que, conforme sugere-se, ocasiona uma redução nas tensões internas do material (a partir de recristalização). Os valores obtidos para a perda de massa estão apresentados na Tabela 4. Por fim, a Figura 2a mostra a aparência de uma amostra temperada antes do experimento e a Figura 2b, a aparência de uma amostra depois do experimento de corrosão.

Tabela 4. Perda de massa após o experimento.

| | **Corpo de prova** | **Perda de massa (g)** | **Perda de massa (%)** | **Média de perda (%)** |
|---|---|---|---|---|
| **Recozido** | CP1 | 0,01 | 0,0556 | 0,0887 |
| | CP2 | 0,02 | 0,1053 | |
| | CP3 | 0,02 | 0,1053 | |
| | **Corpo de prova** | **Perda de massa (g)** | **Perda de massa (%)** | **Média de perda (%)** |
| **Temperado** | CP1 | 0,04 | 0,2000 | 0,2210 |
| | CP2 | 0,06 | 0,3006 | |
| | CP3 | 0,0325 | 0,1625 | |
| | **Corpo de prova** | **Perda de massa (g)** | **Perda de massa (%)** | **Média de perda (%)** |
| **Revenido** | CP1 | 0,04 | 0,2001 | 0,1669 |
| | CP2 | 0,02 | 0,1003 | |
| | CP3 | 0,04 | 0,2003 | |




Figura 2. Aspecto visual dos corpos de prova antes (a) e depois (b) do experimento.

Após a avaliação dos valores obtidos, ficou clara a influência dos tratamentos térmicos sobre a corrosão dos corpos de prova, uma vez que os corpos temperados apresentaram uma dureza 60% superior à dos corpos recozidos, e as amostras temperadas apresentaram uma perda de massa de 87,5% a mais quando comparadas com as amostras recozidas. Isso comprova a influência dos tratamentos térmicos sobre a corrosão do aço SAE 4340, além de enaltecer a importância que o revenimento tem sobre o potencial corrosivo dos corpos de prova. A redução de dureza dos corpos temperados com o revenimento foi de 12%, enquanto a diferença entre a perda de massa entre os corpos temperados e revenidos foi de 76%, sendo estes valores considerados significativos. As médias das durezas obtidas nas amostras após os tratamentos térmicos, bem como porcentagens de perda de massa das amostras são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Dados de dureza e perda de massa dos corpos de prova.

| **Tratamento Térmico** | **Recozido** | **Temperado** | **Revenido** |
|---|---|---|---|
| **Dureza HRC** | 23,1 HRC | 57,5 HRC | 50,3 HRC |
| **Perda de massa** | 0,09% | 0,72% | 0,17% |

A Figura 3 apresenta o gráfico da relação entre a perda de massa apresentada pelas amostras e os valores obtidos para as durezas das mesmas. É possível observar que tanto valores de dureza, quanto perda de massa, seguem a mesma tendência. A partir disso, é possível inferir que tensões residuais elevadas, oriundas do tratamento térmico no aço, tendem a aumentar a suscetibilidade à corrosão.

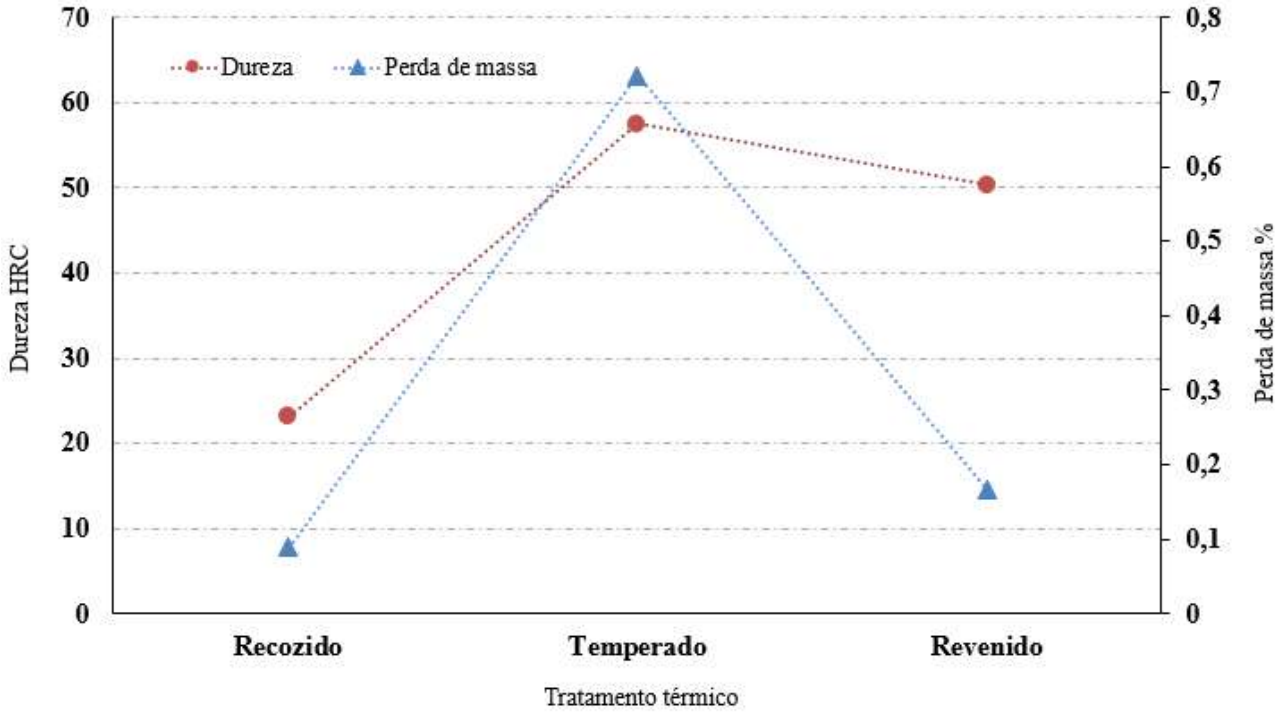



Figura 3. Efeito do tratamento térmico na dureza e perda de massa.

## 4. CONCLUSÕES

Tendo em vista o estudo realizado e os resultados obtidos, tem-se que a consideração do processo de manufatura de um aço é de grande importância para a execução de um projeto. O mesmo vale para os tratamentos térmicos aos quais o aço é submetido, pois a realização deles interfere em propriedades do material que podem ser determinantes em sua aplicação.

Diante dos experimentos realizados, infere-se que os tratamentos térmicos no aço SAE 4340 influenciaram o potencial corrosivo das amostras analisadas. Observou-se que, para os corpos de prova com tensões internas mais elevadas e maior dureza, houve maior perda de massa. Tal resultado indica que esses são mais suscetíveis à corrosão. Por outro lado, nas amostras submetidas a tratamentos térmicos que aliviam as tensões, a perda de massa foi menor. Vale ressaltar a importância do revenimento, pois ele não compromete de forma significativa a resistência mecânica do aço e torna-o menos suscetível à corrosão.

## 5. REFERÊNCIAS

Barros, R. A.; Abdalla, A. J.; Rodrigues, H. L.; Pereira, M.S. Caracterização de um aço SAE/AISI 4340 com diferentes microestruturas. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, Campinas, Vol. 34, N°2, pg. 71-74, Maio - Ago., 2015

ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM A29 – Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought, General Requirements for. ASTM International, 2006.

Anazawa, R. M.; Abdalla, A. J.; Hashimoto, T. M.; Pereira, M. S. Estudo comparativo das propriedades mecânicas em aços 4340 e 300M submetidos a tratamentos térmicos isotérmicos e intercríticos. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v.31 n.1-2, 2012 32-37.

Chiaverini, Vicente. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7.ed. São Paulo: ABM. 2012.

Totten, George E.; Steel heat treatment handbook. 2.ed. Portland, Oregon, USA: Taylor e Francis, 2006.

Martins, C.; Strohaecker, T.; Rocha, A., Hirsch, T. Comparação entre Técnicas de Análise de Tensões Residuais em Anéis de Rolamento do Aço ABNT 52100. Revista Matéria, vol. 9, Nº 1, pg. 23-31, 2004.

Oliveira, T. L. L.; Neves, F. O.; Braga, D. U.; Rezende, A. S. C. Efeito do tratamento térmico sobre tensões residuais em produtos de aço forjados a frio. 6º Congresso Brasileiro De Engenharia De Fabricação, 2011.

Silva, A. L.; Mei, P.R. Aços e Ligas Especiais. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2010.

Gentil, V. Corrosão. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Merlo, P.; Milagre, M; Machado, C.; Macêdo, C.; Orlando, M. Correlação entre a Resistência à Corrosão e as Tensões Residuais de um Aço Inoxidável Lean Duplex UNS S32304 Tratado Termicamente. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul, RS, Brasil, 2011.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Mecânica:

# Engenharia Térmica e de Escoamentos

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA AJUSTE DE ASA TRASEIRA MÓVEL EM VEÍCULOS DE COMPETIÇÃO

**Márcio Walber**
**Alexandre Pereira Dall'Oglio**
**Henrique Pan**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
mwalber@upf.br, 150747@upf.br, 142784@upf.br

***Resumo:*** *Em veículos esportivos, existem as vezes dispositivos de aerodinâmica ativa, no entanto, esses ditos veículos tendem a possuir um custo de aquisição elevado. Para carros de pista, costumam estar disponíveis asas traseiras para a aquisição e instalação, dessa maneira reduzindo o arrasto aerodinâmico ou ganhando downforce. Estas asas traseiras comumente disponíveis, no entanto, costumam ser fixas, ou possuir regulagem manual, que requer que o veículo esteja parado. Com essas considerações, este trabalho tem o intuito de desenvolver o conceito de um mecanismo que seja capaz de alterar a posição da asa traseira de veículos de maneira automática, aspirando pelo melhor rendimento aerodinâmico possível, combinando uma redução de arrasto em longas retas e um aumento de downforce durante as curvas mais rápidas. O desenvolvimento do mecanismo utilizou a metodologia de Pahl e Beitz, utilizando uma lista de requisitos contendo mecanismos já presentes no mercado. O perfil da asa foi dimensionado utilizando métodos analíticos, modelado em software 3D e simulado utilizando o software XFLR 5. O mecanismo resultante é capaz de alterar o ângulo de ataque da asa de 0º a 25º em um intervalo de aproximadamente 0,1 segundo, conseguindo gerar 1050 N de downforce a uma inclinação de 22º.*

***Palavras chave:*** *Aerodinâmica ativa; Asa traseira; Downforce; Arrasto aerodinâmico.*

## 1. INTRODUÇÃO

A aerodinâmica sempre possuiu um papel essencial sobre os veículos. Com o avanço da tecnologia, houve um crescente estimulo ao estudo da aerodinâmica sobre os veículos tanto de passeio como de competição. Esse estimulo se deu não só pelo avanço dos softwares e metodologias de simulações de aerodinâmica, mas também pela necessidade de criar veículos com um maior desempenho em pista e com um menor consumo de combustível (BORGHI, CARMASSI, *et al.*, 2003).

A aerodinâmica veicular dita as forças que estão atuando sob o veiculo enquanto ele se movimenta por um fluido, nesse caso o ar, como pode ser visto na Figura 1. Enquanto parado, o veiculo experiencia apenas a pressão atmosférica nas partes externas, ou seja, o somatório de forças sobre o mesmo é zero. No momento em que se inicia o movimento, cria-se uma diferença de pressão ao no exterior do veículo, fazendo com que o somatório de forças sobre o mesmo tenha um valor diferente de zero. A força criada pelo movimento do mesmo junto do ar é chamada de arrasto, fazendo com que o desempenho do automóvel seja afetado de maneira negativa (MERKEL, 2013).

Em supercarros e veículos de competição, os quais necessitam de uma elevada perfomance, já são utilizados mecanismos de aerodinâmica ativa para auxiliar em seu desempenho, seja para aumentar o seu limite máximo de velocidade, reduzindo o arrasto aerodinâmico, ou para criar downforce, facilitando a execução de curvas rápidas. Um dos exemplos de veículos com a tecnologia de aerodinâmica ativa é o Nissan GT-R GT3, que segundo Contesini (2014), consegue gerar até 1000 kg de downforce a uma velocidade de 200km/h.

Este trabalho tem como o objetivo apresentar o conceito de um dispositivo de simples funcionamento, que pode ser utilizado em uma grande gama de veículos, podendo movimentar de forma automática a asa traseira do veículo, possibilitando uma boa performance do mesmo tanto em retas quanto em curvas.

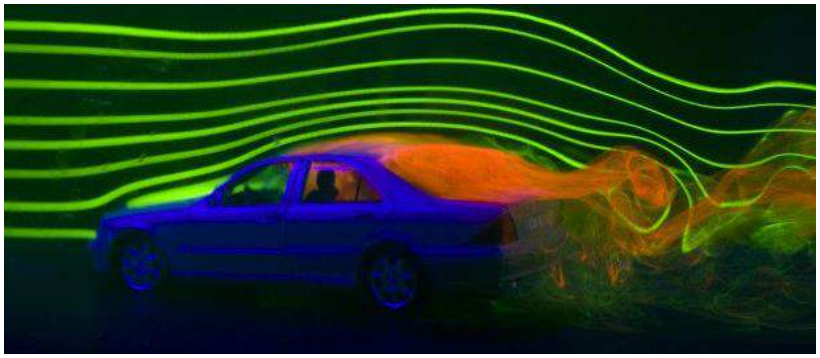


Figura 1. Arrasto aerodinâmico

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do produto é proposta por Pahl et al. (2005), sendo dividida em quatro fases. Este capítulo foi dividido conforme as fases de concepção de projeto. A primeira parte da metodologia é onde ocorre a especificação do projeto, sendo elaborada uma lista de requisitos.

Com a conclusão da lista de requisitos, é iniciada a segunda fase, o projeto conceitual, onde é desenvolvida a estrutura de função do dispositivo. A estrutura de função é dividida em subfunções, devendo-se buscar diferentes soluções para cada subfunção e criar combinações com as mesmas. As combinações de soluções criadas devem ser avaliadas então através de critérios técnicos.

Na terceira fase da metodologia, o anteprojeto, são definidas as forças sobre o mecanismo e as geometrias do mesmo, gerando um modelo tridimensional do dispositivo.

### 2.1 Especificações do Projeto

Nesta etapa foi elaborada uma lista de requisitos que serve de referência para o projeto, apresentando informações e características do dispositivo.

O Quadro 1 apresenta a lista de requisitos, onde as características nela listada foram definidas através de estudos de aerodinâmica e pesquisas dos dispositivos já existentes, servindo de referencia para todo o desenvolvimento. As características são divididas em duas categorias, as exigências do projeto, representadas por "E", e os desejos, representados por "D".

Quadro 1. Lista de requisitos

| DATA DE MODIFICAÇÃO | D/E | REQUISITOS |
|---|---|---|
| 13/06/2018 | D<br>D<br>D | **1. Geometria:**<br>Dimensões aproximadas do dispositivo:<br>Altura: 450 mm;<br>Largura: 1200 mm;<br>Comprimento: 600 mm. |
| 13/06/2018 | E<br>E | **2. Cinemática:**<br>Movimentação Linear;<br>Alteração de posição em curto espaço de tempo. |
| 13/06/2018 | D<br>D | **3. Forças:**<br>Arrasto: 400N;<br>Downforce: 1000N. |
| 13/06/2018 | D | **4. Material:**<br>Alumínio. |
| 13/06/2018 | D | **5. Produção:**<br>Componentes acoplados através de fixadores. |
| 13/06/2018 | E | **6. Montagem:**<br>Manual. |

Quadro 1. Lista de requisitos (continuação)

| DATA DE MODIFICAÇÃO | D/E | REQUISITOS |
|---|---|---|
| 13/06/2018 | E | **1. Operação:** Movimentação automatizada. |
| 13/06/2018 | D | **2. Manutenção:** Todas as peças podem ser substituídas. |
| 13/06/2018 | D | **3. Custo do dispositivo completo:** A definir após dimensionamento. |
| 13/06/2018 | D | **4. Prazo:** Conclusão até o final de Novembro de 2018. |

Após esclarecidas as exigências para o dispositivo, prossegue-se com o desenvolvimento da metodologia proposta.

## 2.2 Projeto conceitual

Após a conclusão da lista de requisitos, foi elaborada a função global do dispositivo, que tem como objetivo principal movimentar automaticamente a asa traseira em veículos. A função global desdobra-se em duas subfunções para atendê-la: gerar movimento e movimentar a asa.

Com o objetivo de desenvolver um mecanismo de aerodinâmica ativa, é necessário que haja um componente capaz de gerar movimento, sendo necessário para que se possa alterar a posição da asa quando for necessário. O movimento gerado deve ser transferido à asa para movimentá-la, alterando o ângulo de ataque da mesma e gerar a quantia de downforce necessária para cada situação. A estrutura de funções pode ser visualizada na Figura 2.

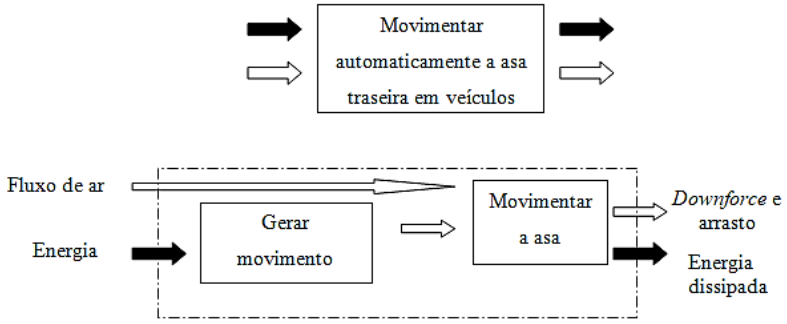



Figura 2. Estrutura de funções

Com a estrutura de funções e subfunções definidas, foi elaborado um esquema relacionando as subfunções com possíveis soluções, que podem ser visualizadas no Quadro 2. Assim, obtendo-se diferentes alternativas de produtos que atendem à função global do equipamento.

Quadro 2. Funções e soluções

| FUNÇÕES | | SOLUÇÕES | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| **A** | Gerar movimento | Atuador pneumático | Atuador hidráulico | Atuador elétrico |
| **B** | Movimentar a asa | Atuador acoplado à asa | Mecanismo de movimentação | |

Para a subfunção de gerar movimento foram encontradas três opções de atuadores que podem satisfazer a necessidade, pneumático, hidráulico e elétrico.

Já o mecanismo de movimentação da asa pode ser direto, com o atuador acoplado diretamente à asa ou através de um mecanismo de movimentação indireta, que transmite o movimento gerado pelo atuador até o ponto de fixação da asa.

Pela existência de várias soluções, é utilizado o método para selecionar as melhores combinações através da avaliação com uma lista de seleção, sugerido por Pahl et al. (2005, p.75), onde todas as opções são analisadas através de critérios, reduzindo o número de soluções possíveis. A lista de seleção encontra-se no Quadro 3.

Quadro 3. Lista de seleção

| UPF Universidade de Passo Fundo | | | | | | | Lista de seleção | Folha: 1 Página: 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Avaliar alternativas de solução (Lv) de acordo com os critérios de seleção<br>(+) Sim<br>(-) Não<br>(?) Escassez de informações<br>(!) Checar na lista de requisitos | | | | | | | Decidir<br>Simbologia das alternativas de solução:<br>(+) Prosseguir com o desenvolvimento da solução<br>(-) Descartar solução<br>(?) Conseguir informação (avaliar novamente)<br>(!) Testar lista de requisitos com relação a alterações |
| | Foram dadas as condições de compatibilidade | | | | | | | |
| | | As exigências da lista de requisitos foram satisfeitas | | | | | | |
| | | | Realizáveis em princípio | | | | | |
| | | | | Custo aceitável | | | | |
| | | | | | Tem funcionalidade | | | |
| Lv | | A | B | C | D | E | Observações (sugestões, justificativas) | |
| A1 | 1 | + | + | + | + | - | Não garante a posição com a variação da força imposta pelo fluxo de ar | - |
| A2 | 2 | + | + | + | + | + | | + |
| A3 | 3 | + | + | + | + | + | | + |
| B1 | 4 | + | + | - | + | + | Pode causar conflito com outros componentes do veículo | - |
| B2 | 5 | + | + | + | + | + | Possibilita a instalação dos atuadores em melhor posição | + |

Após a análise realizada através da lista de seleção, restaram apenas duas soluções possíveis. Com as soluções que se mostraram adequadas aos requisitos, podem ser feitas duas combinações que são mostradas no Quadro 4.

Quadro 4. Esquema de funções e soluções com as combinações realizáveis

| FUNÇÕES | | SOLUÇÕES | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| A | Gerar movimento | Atuador pneumático | Atuador hidráulico | Atuador elétrico |
| B | Movimentar a asa | Atuador acoplado à asa | Mecanismo de movimentação | |

Combinação 1 Combinação 2

Para avaliar qual das duas combinações é a melhor solução da função global do equipamento, as mesmas terão valores atribuídos referentes a cada um dos critérios para avaliar cada combinação de solução. Cada critério recebe uma avaliação através da atribuição de pontos que são mensurados pela diretriz VDI 2225, onde os valores variam de 0 a 4, sendo que o valor 4 representa a melhor solução e o valor 0 a solução menos adequada.

Em seguida, foi desenvolvido um sistema hierárquico com critérios utilizados para avaliar cada uma das combinações. Os critérios recebem valores que são arbitrados conforme o grau de relevância de cada característica. Estão expostos na Figura 18 os critérios selecionados bem como seus valores arbitrados.

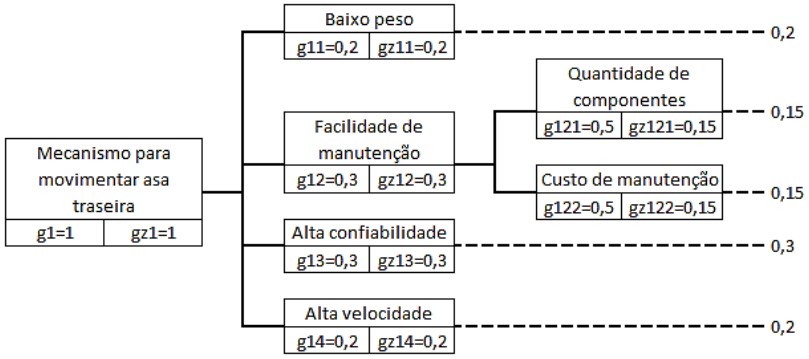



Figura 3. Árvore de critérios

Com os critérios definidos foram avaliadas as duas combinações e atribuídos valores “wi” conforme a escala VDI 2225, o valor atribuído é multiplicado pelo coeficiente “gz” exposto na Figura 3, resultando assim em um valor “wg”, que representa a avaliação de cada combinação. A melhor combinação será aquela que apresentar o maior valor “Gw”, que é a soma dos valores de “wg” de cada combinação. Segue no Quadro 5 a análise das combinações.

Quadro 5. Avaliação das combinações

| Critérios de avaliação | | | Combinação 1 | | Combinação 2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nº | | Fator | Valor wi1 | Valor ponderado wgi1 | Valor wi2 | Valor ponderado wgi2 |
| 1 | Baixo peso | 0,2 | 2 | 0,4 | 4 | 0,8 |
| 2 | Quantidade de componentes | 0,15 | 2 | 0,3 | 4 | 0,6 |
| 3 | Custo de manutenção | 0,15 | 2 | 0,3 | 4 | 0,6 |
| 4 | Alta confiabilidade | 0,3 | 4 | 1,2 | 4 | 1,2 |
| 5 | Alta velocidade | 0,2 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 |
| | | ∑gz = 1 | | Gw1 = 3,0 | | Gw2 = 4,0 |

Verifica-se que a combinação 1 apresenta um valor “Gw” inferior. Isso deve-se ao fato de que para a utilização de um atuador hidráulico é necessário o uso de mais componentes, como mangueiras, chaves de comando, filtros para o sistema e reservatório, o que aumenta o peso do sistema e consequentemente do veículo, além de ser um sistema mais complexo e com custo de manutenção maior quando comparado ao atuador elétrico.

Já a combinação 2, apresenta valor “Gw” maior, visto que, comparado com a combinação 1 não necessita componentes auxiliares ao atuador. Portanto utiliza um menor número de componentes, o que consequentemente reduz o peso e o custo de manutenção. Apesar de a combinação 1 também satisfazer a função global muito bem, a combinação 2 não apresenta alguns inconvenientes como a primeira.

Como visto na Figura 4, o conceito é composto por uma haste, componente indicado pela letra A, onde é fixada a asa. A haste proporciona o movimento linear e a amplitude necessária para a movimentação e alteração do ângulo de ataque da asa. Esta possui uma cremalheira em uma das extremidades, a qual é acionada por uma engrenagem de dentes retos, peça indicada pela letra B. Acoplada através de um eixo à engrenagem de dentes retos, está uma coroa, peça C, acionada por uma engrenagem sem-fim, peça D, a qual possibilita o autotravamento da posição da asa, assim evitando alterações não desejadas do ângulo de inclinação da asa. Na engrenagem sem-fim será acoplado um servo motor elétrico responsável pela movimentação rápida e precisa de todo o mecanismo.

Como as asas veiculares possuem quatro pontos de fixação, será necessária a instalação de quatro mecanismos idênticos, sendo dois na parte frontal da asa e dois na parte traseira. Para uma movimentação mais eficaz da asa os sistemas frontal e traseiro são movimentados independentemente e com sentidos opostos, reduzindo o tempo de movimentação e aumentando a amplitude do sistema.

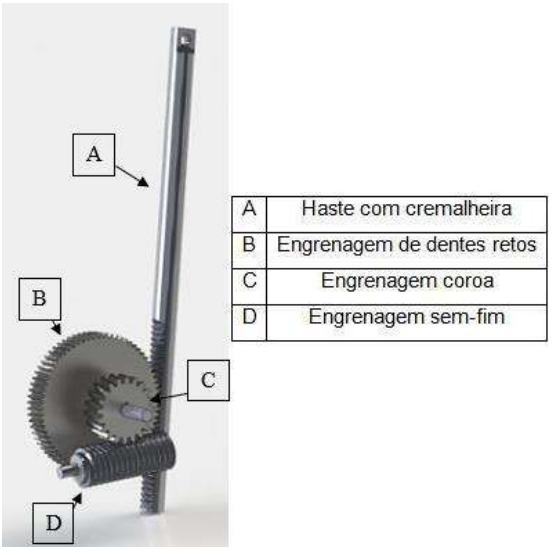



Figura 4. Conceito do Dispositivo

## 2.3 Anteprojeto

Nessa etapa é definidas as forças atuantes sob o mecanismo utilizando o software XFLR5, e também o modelamento tridimensional de todos os componentes que compõe o sistema.

Para realizar as análises das forças atuantes, foi utilizado o perfil de asa MH 38, que pode ser visualizado na Figura 5. A escolha desse perfil se deu pelas asas encontradas no mercado automotivo possuírem um perfil semelhante ao mesmo. Por este perfil ser assimétrico, é gerado pouco arrasto e também é capaz de gerar ganhos de downforce expressivos com o aumento da velocidade do veículo.

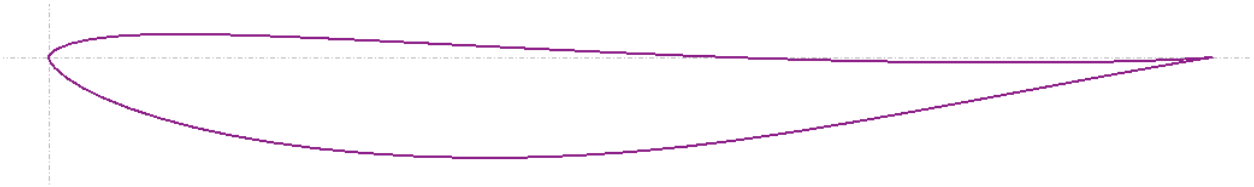


Figura 5. Perfil de asa MH 38

Para a análise no XFLR5, primeiramente foi inserido o perfil no software, após isso, segue-se para a análise do perfil, definindo alguns parâmetros para a realização da simulação. Para uma análise inicial mais ampla, foram definidos os limites de ângulos de ataque entre -10º e 55º, valores que extrapolam as condições de uso e assim será possível definir o ângulo de inclinação máximo em que o perfil mantém a camada limite do escoamento. Já os valores do número de Reynolds foram definidos com limites de 300000 e 1400000, valores de fluxo de escoamento de ar que correspondem a velocidades de 70km/h e 345km/h respectivamente. A velocidade definida como limite superior, foi estabelecida assim, pois segundo Dines (2010), esta foi atingida pelo piloto Cacá Bueno, em 2010, a bordo de um stock car na cidade de Wendover, em Utah, nos Estados Unidos.

A Figura 6 apresenta os coeficientes aerodinâmicos obtidos com a simulação desse perfil. Os gráficos A e C possuem os mesmos dados, apenas com variação em sua escala, nestes são apresentados os coeficientes de levante (Cl), responsável pelo downforce, em função do ângulo de inclinação (α), onde pode-se notar um aumento do coeficiente de levante em função do ângulo de inclinação, chegando até um valor máximo em 26º. O gráfico B, apresenta o coeficiente de arrasto (Cd) também em função do ângulo de inclinação (α), esse apresenta seu valor máximo igualmente o anterior em 26º. O gráfico D, apresenta a relação entre os dois coeficientes citados anteriormente, possuindo o valor máximo em 6º de inclinação, ou seja, com esse ângulo de ataque da asa se consegue a melhor eficiência, obtendo bom valor do coeficiente de levante com um baixo valor de coeficiente de arrasto.

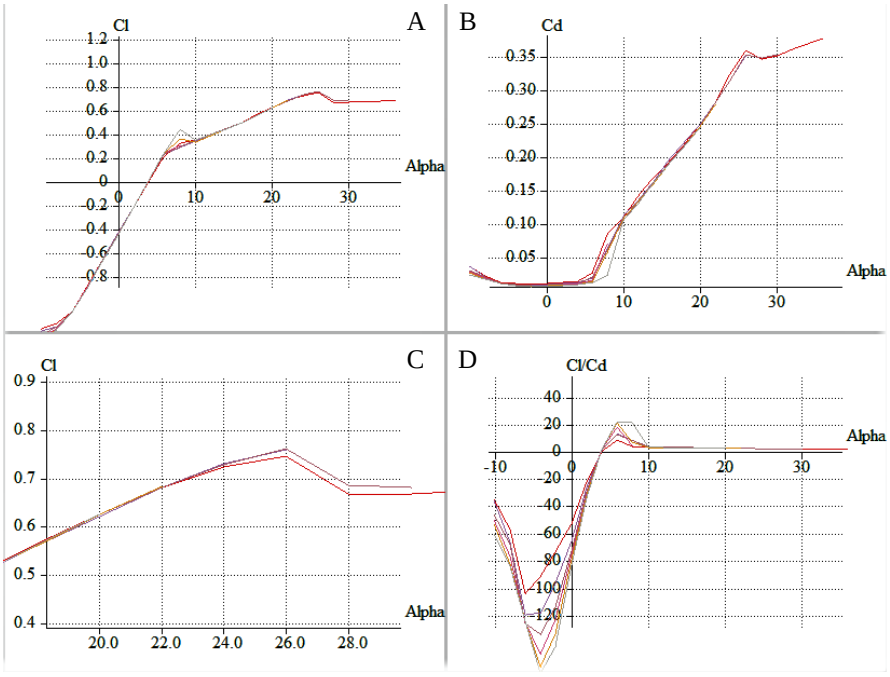



Figura 6. Coeficientes resultantes do perfil MH 39

Para obter os valores das cargas solicitantes, foi simulado o perfil MH 38 adicionando-se alguns parâmetros para uma análise completa da asa. Para a dimensão de corda, distância entre o bordo de ataque e bordo de fuga da asa, foi utilizado 210 mm e a largura total da asa gerada pelo perfil foi de 1700 mm, com a secção transversal da asa permanecendo constante por toda a sua largura. Na Figura 7 é apresentada a simulação da asa no software, que gera gráficos visuais dos valores de downforce, linhas verde, com o comprimento proporcional à sua amplitude, podendo-se notar que próximo às bordas os valores gerados são menores. O arrasto, linhas amarelas, possui amplitudes menores próximo ao centro e maiores próximo as bordas da asa. Essa variação de valores próximos às extremidades se deve ao fato que nelas o fluxo de ar possui um escoamento mais turbulento, gerando um fluxo desordenado de ar.

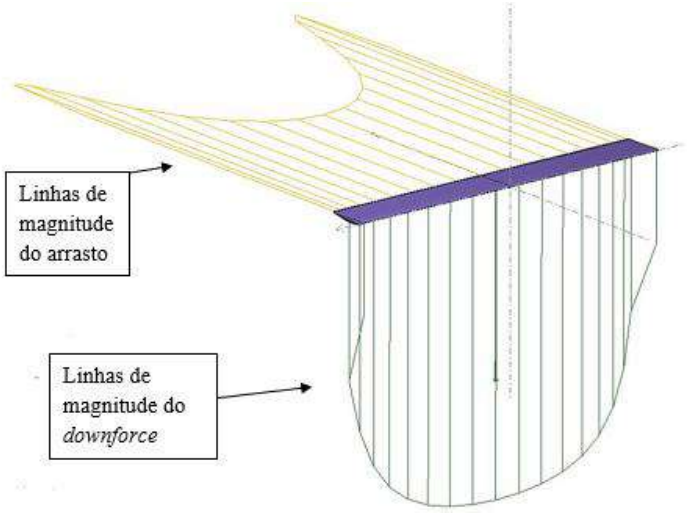



Figura 7. Simulação da asa

A simulação da asa foi realizada com a variação do ângulo de ataque da asa e em três velocidades diferentes, a 270 km/h, 305 km/h e 345 km/h. Os parâmetros de viscosidade e massa específica do ar já estão inseridos no *software*.

Com a simulação realizada, foram obtidos diversos gráficos, que podem ser visualizados na Figura 8. O gráfico A apresenta a relação entre o coeficiente de levante de asa (CL) e o coeficiente de arrasto da mesma (CD) em função do ângulo de inclinação (α), a melhor correlação é obtida com 6º de inclinação, conforme resultado obtido também na simulação do perfil plano. Este é o ângulo que apresenta melhor eficiência aerodinâmica, combinando melhor os efeitos de downforce e arrasto.

O gráfico B apresenta o coeficiente de levante da asa em função do ângulo de inclinação, o resultado obtido é muito semelhante ao da simulação apenas do perfil, mas nesse caso com a simulação tridimensional da asa o valor máximo foi atingido a 22º de ângulo de ataque. O gráfico D apresenta o valor da força no eixo vertical gerada pela asa através do coeficiente de levante, também em função da inclinação da mesma, atingindo um valor máximo de 1050 N em downforce, sendo esse valor transmitido aos pneus do veículo e transformado em atrito com o solo.

O gráfico C apresenta o coeficiente de arrasto em função do ângulo de inclinação, este também se mostrou muito semelhante quando comparado com a simulação somente do perfil e também chegou ao valor máximo com inclinação de 22º. O gráfico E apresenta as forças geradas pela asa através de seu coeficiente de arrasto, estando no plano horizontal em sentido oposto ao do movimento do veículo. O valor máximo de arrasto gerado é de 430 N, este funciona como um freio aerodinâmico e apesar de indesejado é inevitável.

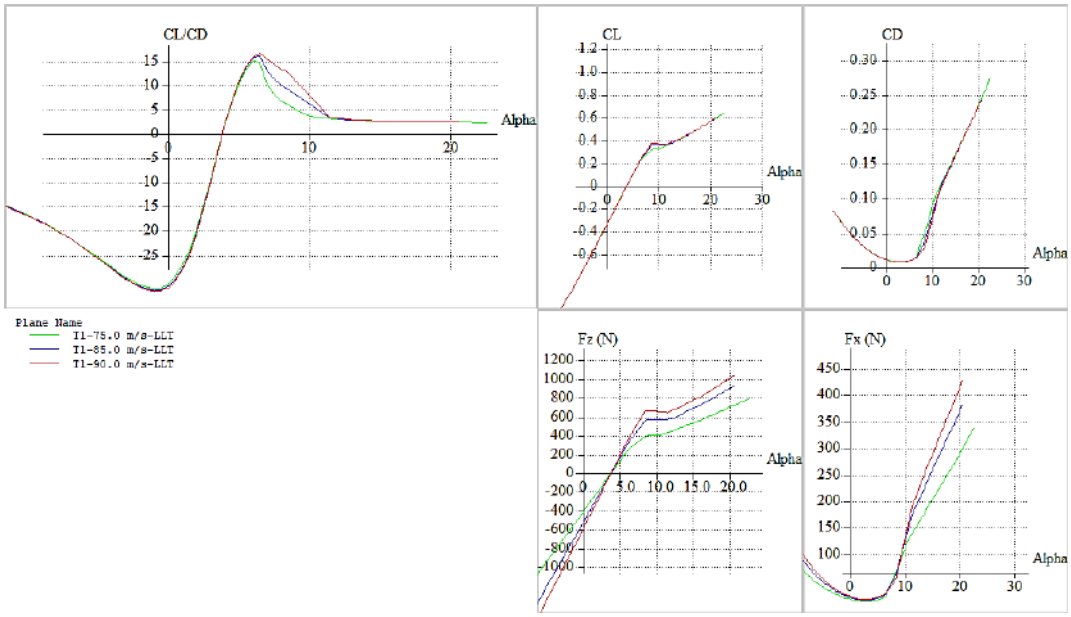



Figura 8. Resultados da simulação da asa

Após as análises, foi desenhado utilizando um software 3D todos os componentes do sistema. Na Figura 9 estão visíveis os componentes responsáveis pelo movimento do sistema, composto por uma haste com cremalheira, uma engrenagem de dentes retos, um conjunto coroa e rosca sem-fim e um motor elétrico.



Figura 9. Componentes móveis

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A lista de requisitos foi parcialmente atendida, com pequenas variações, tendo grande contribuição no desenvolvimento do mecanismo, facilitando a busca por soluções mais simples e que atendessem as exigências.

Na fase de projeto conceitual, foi elaborada uma estrutura de funções e subfunções, que norteou a busca por soluções evitando retrabalhos durante o projeto, causadas por soluções que não são compatíveis. Nesta etapa foram obtidas algumas combinações, visto que as subfunções não são de grande complexidade e, portanto, não possuem muitas soluções. Após a definição de algumas combinações, essas foram avaliadas através de critérios de seleção, com análises quantitativas, realizada através de lista de seleção. Algumas variantes foram descartadas por incompatibilidade, as restantes foram avaliadas através do grau de relevância para o mecanismo e assim foi selecionada a melhor concepção para seguir com o desenvolvimento.

Na terceira fase, anteprojeto, foram realizadas simulações em um perfil de asa, com velocidade máxima de 345 km/h, as forças geradas foram de 1050 N para downforce e 430 N para arrasto aerodinâmico, gerando uma força resultante sobre a asa de 1134 N. Este esforço é dividido igualmente entre os 4 pontos de fixação.

Na Figura 10 pode ser observada uma vista explodida do projeto desenvolvido.

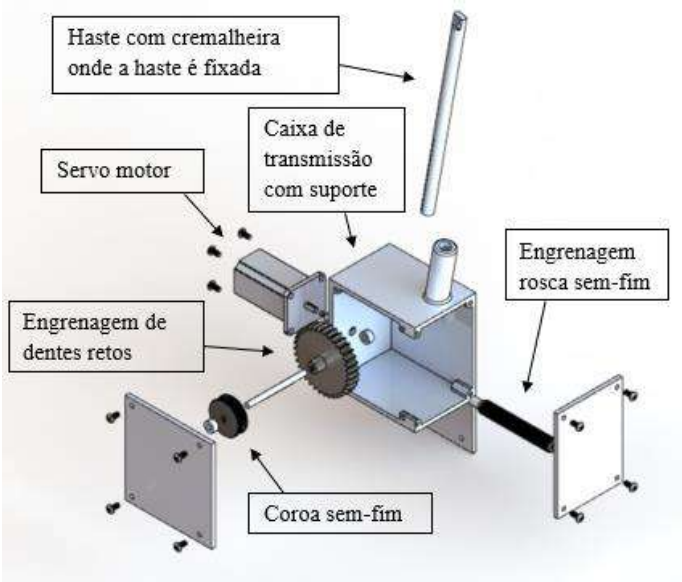



Figura 10. Vista explodida

O mecanismo está em uma estrutura fechada, impossibilitando a entrada de impurezas no sistema de transmissão de movimento, assim evitando possíveis danos e assegurando uma maior durabilidade e confiabilidade.

Foram modelados os componentes do mecanismo, verificando a compatibilidade espacial. Como a asa necessita quatro pontos de fixação, o dispositivo foi desenvolvido a fim de que possa ser intercambiável, assim os quatro mecanismos sendo idênticos possuem menor custo de fabricação e maior facilidade na montagem, produção e manutenção. A montagem do sistema utilizando os quatro mecanismos pode ser visto na Figura 11.



Figura 11. Montagem completa

O mecanismo concebido é capaz de gerar até 1050 N de downforce, quando estiver proporcionando um ângulo de ataque de 22º. Acima desta inclinação a camada limite do escoamento é rompida, o que causa uma redução brusca do downforce gerado e passa a produzir somente arrasto aerodinâmico, ou seja, é útil quando a necessidade é apenas reduzir a velocidade, atuando como um freio aerodinâmico. A alteração do ângulo de inclinação da asa em sua total amplitude é realizada em um intervalo de 0,1 segundo, devendo ser controlada por um sistema eletrônico automático.

## 4. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi o desenvolvimento de um mecanismo para movimentar a asa traseira de veículos de competição, para assim melhorar sua eficiência aerodinâmica em cada situação, conforme a necessidade momentânea.

O dispositivo é capaz de variar o ângulo de ataque da asa do veículo de 0º a pouco mais de 25º, onde a camada limite de escoamento já foi rompida, gerando muito arrasto e pouco downforce. Como o objetivo era melhorar a eficiência aerodinâmica, com menores ângulos de ataque da asa, esta gera pouco downforce e pouco arrasto, desejável para situações de retas, onde o objetivo do piloto é alcançar a maior velocidade possível. Em outra situação, onde a necessidade é obter mais downforce para assim obter mais aderência nos pneus e poder contornar as curvas mais rapidamente, a movimentação da asa ocorre em 0,1 segundo, em função dos mecanismos funcionarem simultaneamente, os fixados na parte frontal da asa retraem e os fixados na parte posterior expandem, conseguindo assim, gerar até 1050N de força descendente sobre o veículo.

A utilização de uma metodologia de projeto foi de total importância para o desenvolvimento deste. Foi definindo primeiramente as necessidades e seguido para a concepção, onde foram analisadas as diversas possibilidades que pudessem atender as funções necessárias e após o uso de critérios de seleção foi definido o conceito do dispositivo. Assim, foi dado seguimento com o anteprojeto, onde foi definida a configuração do equipamento e os componentes.

## 5. REFERÊNCIAS

BORGHI, F. et al. **VEHICLE WITH MOVABLE SPOILERS**. US 6575522 B2, 10 Junho 2003.

CONTESINI, L. Como funciona a aerodinâmica no Nissan GT-R GT3?. **FlatOut**, 2014. Disponivel em: <https://www.flatout.com.br/como-funciona-aerodinamica-nissan-gt-r-gt3/>. Acesso em: 13 Maio 2018.

DINES, B. Cacá Bueno estabelece novo recorde de velocidade da Stock Car: 345 km/h. **Globo Esporte**, 2010. Disponivel em: <http://globoesporte.globo.com/motor/stock-car/noticia/2010/09/caca-bueno-estabelece-novo-recorde-de-velocidade-da-stock-car-345-kmh.html>. Acesso em: 13 Outubro 2018.

HERNANDES, D. Afinal, qual é a diferença entre spoiler e aerofólio? **FlatOut**, 2017. Disponivel em: <https://www.flatout.com.br/afinal-qual-e-a-diferenca-entre-spoiler-e-aerofolio/>. Acesso em: 2018 Abril 14.

MERKEL, J. P. **DEVELOPMENT OF MULTI-ELEMENT ACTIVE AERODYNAMICS**. The University of Texas at Arlington. Arlington, p. 96. 2013.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia:** fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos métodos e aplicações. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO COMPORTAMENTAL DE TROCADORES DE CALOR VIA SIMULAÇÃO NUMÉRICA OBSERVANDO O EFEITO DA RADIAÇÃO TÉRMICA NO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

**Ana Carolina Kircher Lima Marcon**
**Raul Vanz**
**Paulo Rodolfo Buffon Ortiz**
**Paulo Smith Schneider**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
carolinaklmarcon@gmail.com, raul.vanz@yahoo.com.br, pbuffono@gmail.com, pss@mecanica.ufrgs.br
**Cristiano Vitorino da Silva**
Universidade Regional Integrada de Erechim
cristiano@uricer.edu.br

**Resumo:** *O presente trabalho se propõe a detalhar o estudo feito nos trocadores de calor de uma central termoelétrica de 360 MW, avaliando o comportamento do escoamento não isotérmico através de uma seção no banco de tubos do superaquecedor secundário quanto à influência da radiação térmica sobre o escoamento e distribuição de temperaturas sobre a superfície dos tubos utilizando-se a ferramenta de simulação numérica ANSYS CFX. São resolvidas as equações de transporte através das médias de RANS adotando-se o modelo k-ε para representar a turbulência. Para resolver a equação de transferência radiante adota-se o modelo PN, para N=1, considerando o meio participante. Verifica-se através dos resultados que a radiação altera significativamente a distribuição de temperaturas e a transferência de calor sobre os tubos. Constata-se que na região de estudo os gradientes de temperatura são maiores quando não se leva em conta a radiação térmica no processo, sendo necessária a consideração deste fenômeno na acurácia da avaliação destes trocadores de calor.*

***Palavras chave:*** *trocadores de calor, super aquecedor, termoelétrica, radiação térmica, CFD.*

## 1. INTRODUÇÃO

A geração de vapor superaquecido em uma central termoelétrica depende fundamentalmente das condições de operação dos superaquecedores. Esses trocadores de calor são equipamentos que recebem grande influência da transferência de calor do escoamento de gases quentes oriundos da combustão, sendo responsáveis por cerca de 30% da carga térmica do gerador de vapor (Maakala *et al.*, 2018). Em função dos elevados gradientes de temperatura que podem ocorrer devido a falhas de operação, as grandes tensões térmicas produzem risco à operação, chegando ao limite de ruptura da tubulação, reduzindo a disponibilidade da usina. Deste modo, conhecer o funcionamento e os fatores determinantes na transferência de calor nos mesmos mostra-se de grande importância para o processo como um todo. Alguns trabalhos na literatura abordam este estudo através do uso de ferramentas computacionais, apresentando metodologias simplificadas, em função do refinamento de malha necessário para sua avaliação como um todo (Park *et al*., 2010). No trabalho de Maakala *et al.* (2018), apresenta-se um estudo de otimização quanto à performance do equipamento através do CFD (*Computacional Fluid Dynamics*). Muitos são os trabalhos e metodologias para se avaliar estes equipamentos via CFD (Maakala *et al*., 2018, Li *et al*., 2013, Kawaji *et al*., 1995, Ranganayakulu *et al*., 1999), mas poucos abordam o efeito da radiação térmica.

Este trabalho propõe-se a apresentar o estudo desenvolvido acerca do comportamento do escoamento e a influência da radiação na geometria dos trocadores de calor de uma planta térmica de 360 MW. Deseja-se entender o processo de troca térmica, bem como a influência da radiação no mesmo. Para isso, uma seção de uma geometria real dos superaquecedor secundário foi selecionada e detalhada no *software ICEM*. As condições de contorno adotadas foram retiradas de resultados de uma simulação da caldeira completa, baseando-se nos dados reais de operação.

## 2. MODELAGEM

A modelagem do problema considera uma seção do trocador de calor superaquecedor secundário da caldeira, especificando sua base - região que sofre maior influência dos gases quentes oriundos da combustão. Sendo assim, foi

selecionada a parte mais representativa dos tubos, visando modelar adequadamente o escoamento através dos mesmos. A Figura 1 apresenta uma vista isométrica para a geometria em estudo. Os tubos possuem 38 mm de diâmetro, com espaçamentos longitudinais e transversais de 42 mm e 34 mm, respectivamente.

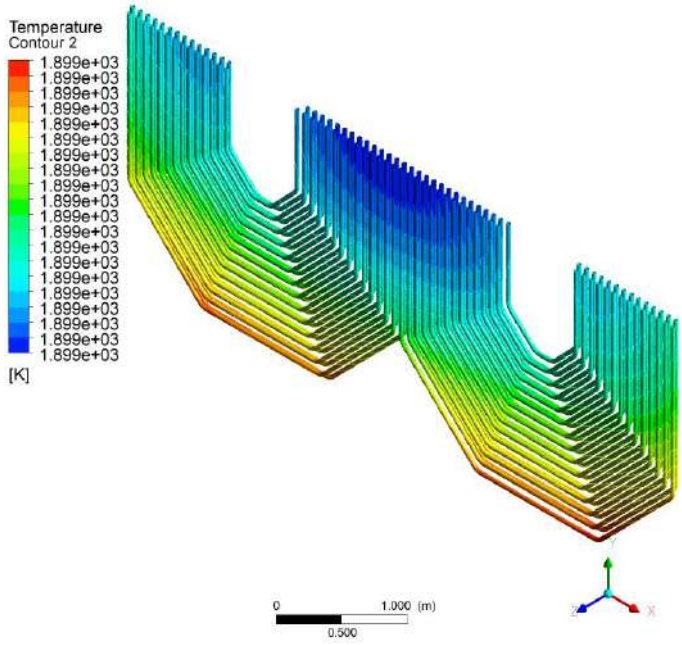



Figura 1. Vista isométrica da geometria simulada.

As dimensões do domínio no entorno da seção do bando de tubos foram escolhidas de modo a simular as condições reais de operação. Este entorno representa uma das 12 fileiras de trocadores, tendo sido adotada a condição de simetria para as paredes frontal e traseira por essa razão. Conforme a Figura 2, entrada do escoamento dos gases quentes da combustão está localizada na parte inferior do entorno, e a saída deste na parede lateral direita e também na parte superior. A parte superior foi considerada como saída pois o domínio foi limitado por questões computacionais, restringindo-se à base do equipamento. A parede esquerda, em laranja, teve atribuída como condição de parede adiabática.

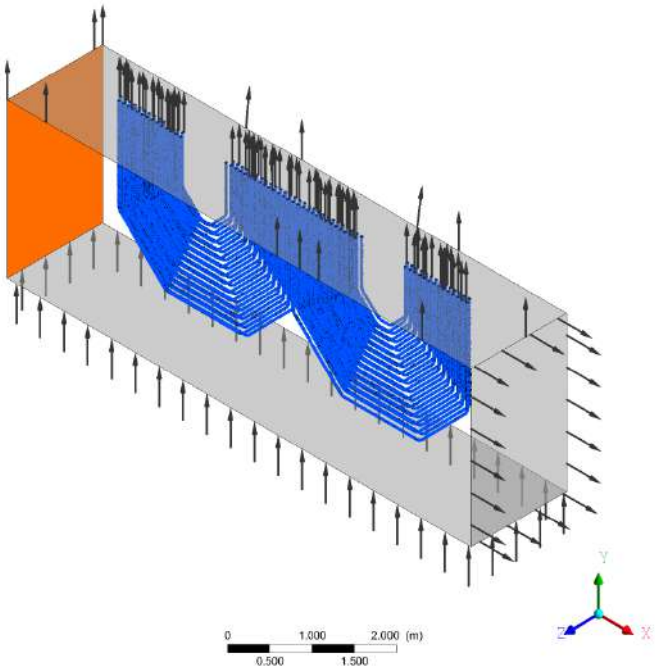



Figura 2. Região de entorno assinalando entrada e saídas do escoamento.

### 1.1 Parâmetros do escoamento e condições de contorno

O escoamento simulado teve seus parâmetros retirados de uma simulação completa da caldeira, fruto de outro trabalho em desenvolvimento. Os dados foram obtidos desenhando-se um plano, de 216,987 m² de área, na altura dos trocadores, a 24,75 m da base. Para implementar os valores na simulação dos trocadores, foi necessário observar que os mesmos correspondiam ao valor de área do plano utilizado. Sendo assim, eles precisaram ser adaptados ao valor de área da envoltória da simulação: 12,44 m². A determinação da vazão no domínio estudado se deu pela divisão da vazão mássica total para o plano de corte pela área da mesma, resultando em 1,46 kg/s por m². A vazão de entrada, portanto, se dá pela multiplicação do valor obtido pela área da envoltória, o que resulta em 18,16 kg/s. Este valor foi atribuido na simulação na região de entrada do escoamento dos gases quentes da combustão, juntamente com a temperatura média obtida nesta região: 1900 K. Nas regiões de saída, utilizou-se um perfil de pressão como condição de contorno, representando o comportamento observado na Figura 3.

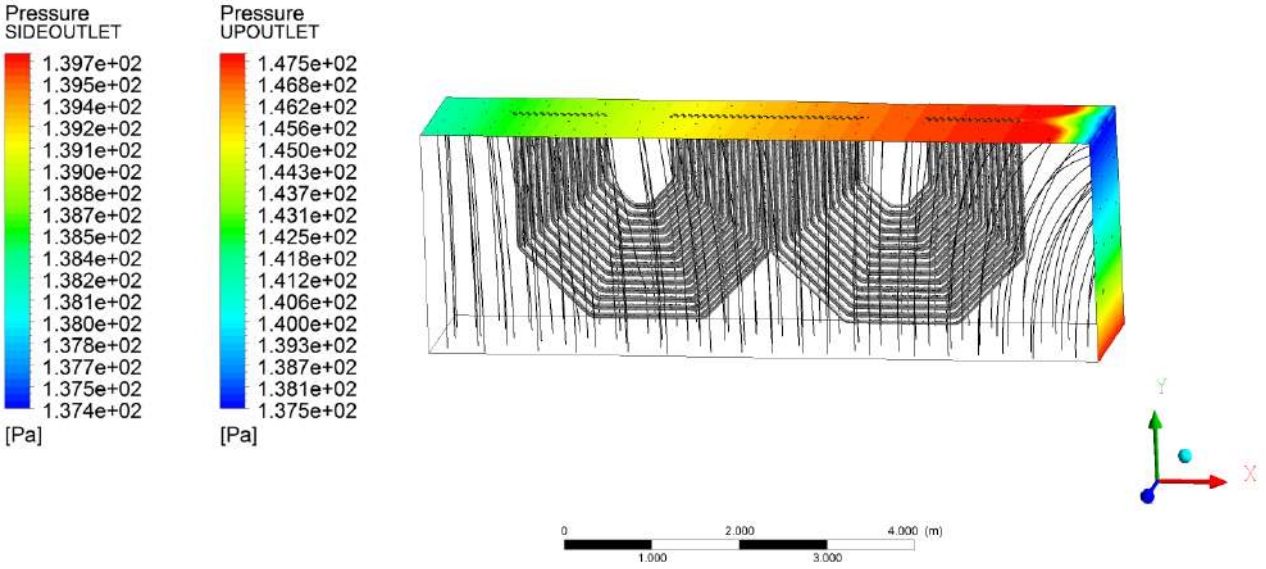



Figura 3. Perfis de pressão obtidos para as regiões de saída.

Cada perfil foi obtido à partir da criação de dois pontos ligados por uma reta. Para obter os parâmetros na coordenada *y*, os pontos foram criados nas posições *P1* = (8; 26; -4) e *P2* = (8; 41,8; -4). Na coordenada *x*, foram criados nas posições *P3* = (-2,45; 26; -2,35) e *P4* = (5,32; 26; -2,35). Os pontos foram utilizados para a obtenção das curvas de regressão para as condições de contorno de pressão. Os pontos das curvas obtidas foram exportados para o *software CurveExpert*, que apresentou equacionamentos aproximados aos dos perfis desejados. Dentre as opções, foi escolhido o modelo *cubic spline*, que representou de maneira satisfatória ambos os perfis obtidos na simulação completa da caldeira. As equações obtidas encontram-se a seguir:

$$pressão_y = \frac{1}{a + by + cy^2} \quad (1)$$

$$pressão_x = \frac{1}{d + fx + gx^2} \quad (2)$$

Onde as constantes *a*, *b*, *c*, *d*, *f* e *g* foram fornecidas pelo *software CurveExpert* e possuem os valores expostos na Tab.1. A área dos trocadores teve atribuída como condição de contorno o fluxo de energia cruzando os mesmos. Para a obtenção deste parâmetro, retirou-se dos dados de operação reais da planta o valor de potência por unidade de volume nesta região, de -1426 W/m³. Sendo o volume do equipamento de 1671,25 m³, multiplicando os dois valores chegou-se a potência do equipamento de -2382,2 kW. Dividindo este valor pela área total dos trocadores, 3636,14 m², obteve-se a condição de contorno de -655,41 W/m² de fluxo na região dos trocadores.

Tabela 1. Constantes para os perfis de pressão x e y segundo o *software CurveExpert*.

| Constante | Valor |
|---|---|
| $a$ | $7{,}17 \times 10^{-3} \frac{1}{Pa}$ |
| $b$ | $7{,}16 \times 10^{-5} \frac{1}{m \times Pa}$ |
| $c$ | $-1{,}074 \times 10^{-5} \frac{1}{m^2 \times Pa}$ |
| $d$ | $7{,}014 \times 10^{-3} \frac{1}{Pa}$ |
| $f$ | $-6{,}85 \times 10^{-5} \frac{1}{m \times Pa}$ |
| $g$ | $4{,}91 \times 10^{-6} \frac{1}{m^2 \times Pa}$ |

### 1.2 Equações matemáticas

Para um escoamento turbulento não reativo e não isotérmico, as equações de Navier-Stokes são resolvidas através das médias de RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations*), considerando-se o modelo k-ε para representar a turbulência do escoamento. Também, de forma acoplada resolve-se a equação de transporte de conservação de energia, juntamente com a RTE (*Radiative Transfer Equation*) para representar a transferência de calor por radiação. Adota-se o modelo P-N, para N=1 (Siegel e Howell, 1978) para solução espacial da RTE, considerando meio participante, com coeficiente de absorção constante e igual a 0,5 para representar comportamento de um gás de combustão, aqui adotado como sendo um gás perfeito. O contorno do domínio é assumido como corpo negro. O efeito de espalhamento não é considerado nesse trabalho. A equação da conservação da quantidade de movimento é representada por

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{\rho}\widetilde{U_\iota}\widetilde{U_J}\right) = -\frac{\partial p^*}{\partial x_j}\delta_{ij} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu_{eff}\frac{\partial \overline{U_\iota}}{\partial x_j}\right) + \frac{\partial \overline{U}}{\partial x_j \partial x_i} + \overline{S_u} \tag{3}$$

onde $\bar{\rho}$ é a densidade média, $x$ é a coordenada espacial, $\widetilde{U_j}$ é o vetor de velocideade na componente $j$. $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$, $\mu$ é a viscosidade dinâmica molecular e $\mu_t = C_\mu \rho k^2/\varepsilon$ é a viscosidade turbulenta. O termo $p^* = \bar{p} - (2/3)^k$ é a pressão modificada, $C_\mu$ = 0,09 é uma constante empírica do modelo de turbulência, $\bar{p}$ é o tempo médio de pressão do gás, e $\delta_{ij}$ é a função Krönecker delta. $\overline{S_u}$ é o termo fonte, introduzido para modelar a flutuabilidade e força de arrasto devido às partículas de transporte, e outros termos matemáticos devido aos modelos de turbulência. A equação de conservação da energia pode ser escrita como

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{\rho}\widetilde{U_\iota}\tilde{h}\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\kappa\frac{\partial \tilde{T}}{\partial x_j} + c_p\frac{\mu_t}{Pr_t}\frac{\partial \tilde{T}}{\partial x_j}\right) + \overline{S_{rad}} + \overline{S_T} \tag{4}$$

onde $\tilde{T}$, $\tilde{h}$ e $c_p$ são a temperatura média, a entalpia e o calor específico, $\kappa$ é a condutividade térmica, $Pr_t$ é o número de Prandtl, $\overline{S_{rad}}$ e $\overline{S_T}$ representam as fontes de energia térmica devido à radiação. As equações acima citadas são válidas apenas para o núcleo turbulento, onde $\mu_t \gg \mu$. Perto da parede, a lei logarítmica convencional é usada (Nikuradse, 1933).

## 3. RESULTADOS

A solução das equações acima foi realizada através da técnica de volumes finitos (Patankar, 1980) utilizando-se como ferramenta computacional o *software Ansys* CFX, considerando-se o regime estacionário. A malha utilizada para o problema é tetraédrica, com 6 camadas de prismas sobre as superfícies dos tubos a fim de capturar os efeitos da camada limite. O tamanho da malha é de aproximadamente 10 milhões de volumes de controle. O esquema de interpolação adotado foi o *High Resolution* e o resíduo adotado para análise de convergência foi o RMS (*Root Mean Square*), igual $1x10^{-4}$ para todas as equações.

A Figura 4 apresenta um plano em corte longitudinal sobre uma das linhas de tubos com os perfis de temperatura obtidos a partir da simulação de um caso com e sem efeitos de radiação. A Figura 4a apresenta o caso onde a radiação é desconsiderada, enquanto a Figura 4b leva em consideração o meio participante e os efeitos de radiação. Verifica-se que a radiação altera o campo de temperaturas, como esperado, gerando gradientes de temperaturas entre a base e o topo, devido à transferência para as fronteiras, fato não presente no caso onde somente a convecção é analisada. Este efeito da

radiação gera uma importante implicação nos campos de temperatura, homogeneizando no meio, produzindo uma menor variação de temperaturas dos gases, o que certamente melhora a troca térmica com os tubos, que estão a temperaturas mais baixas. Observe que, para o caso sem radiação a escala de temperaturas mínima é de 1890 K, enquanto que para o caso com radiação este valor é de 1899 K, o que, em relação à máxima, 1900 K, resulta em apenas 1 K de diferença no segundo caso. Repare que a seção de análise representa apenas a seção inicial do superaquecedor, aproximadamente 2 metros de um total de 12. Esta é a região de maiores taxas de transferência de calor, por estar mais próxima da câmara de combustão, sendo assim é esperada uma menor variação de temperatura nos gases.

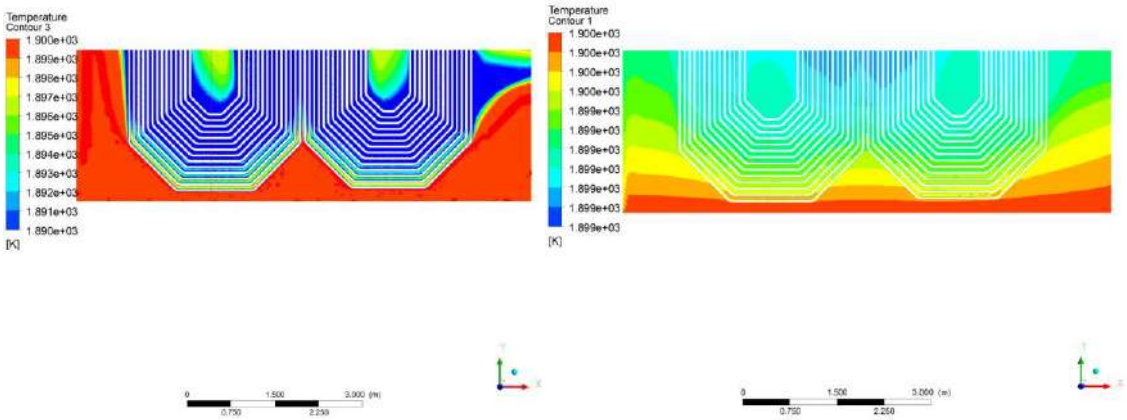



Figura 4. Perfis térmicos em plano longitudinal: (a) sem radiação; (b) com radiação.

A Figura 5 apresenta um plano em corte transversal ao banco de tubos. Na Figura 5a tem-se o caso sem a radiação, onde percebe-se que, no detalhe, as menores temperaturas encontram-se próximas à superfície superior dos tubos, em oposição ao escoamento dos gases, portanto, sob influência das recirculações produzidas na esteira de vórtices, com menores gradientes e menores taxas de transferência de calor. Na Figura 5b, caso com radiação, este efeito não é observado, uma vez que há distribuição de temperaturas é mais homogênea e a radiação consegue transferir energia em todas as direções. Sendo assim, não considerar a radiação produz um resultado subestimado para a transferência de calor para os tubos. A Figura 6 apresenta o campo de vetores velocidade do escoamento sobre a base do superaquecedor, o efeito da convecção e da esteira pode ser melhor observado na Figura 6a, na qual a radiação é desconsiderada, inclusive sobre a distribuição de temperaturas produzida sobre o banco de tubos, onde, na parte superior, encontram-se as menores temperaturas devido a esses maiores gradientes. A Figura 6b apresenta o campo sobre o escoamento considerando-se a radiação. Nota-se maior homogeneidade nas distribuições de temperatura e menores gradientes devido à participação da mesma no processo de transferência de calor.

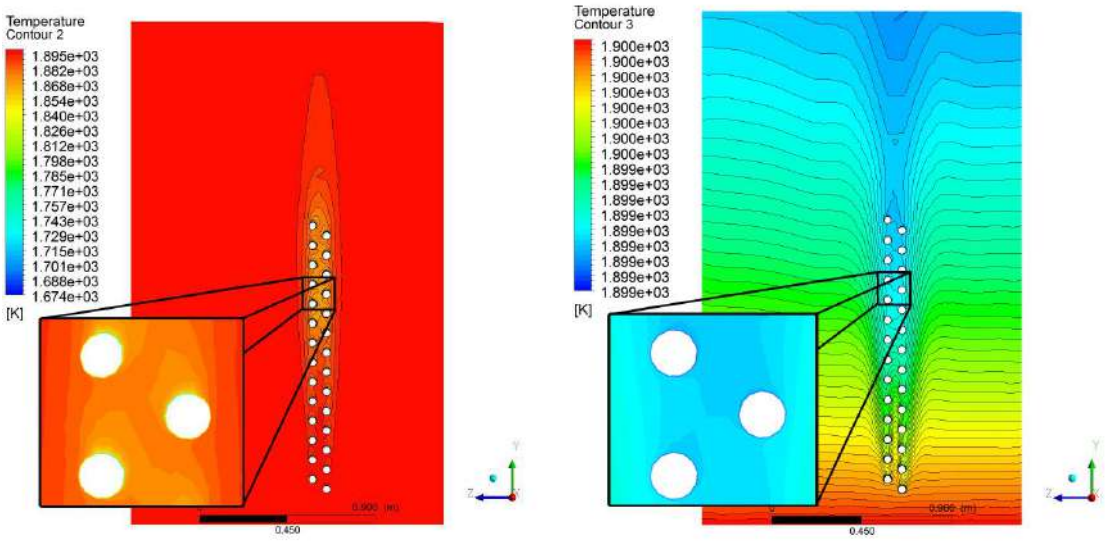



Figura 5. Plano em corte transversal ao banco de tubos: (a) sem radiação; (b) com radiação.

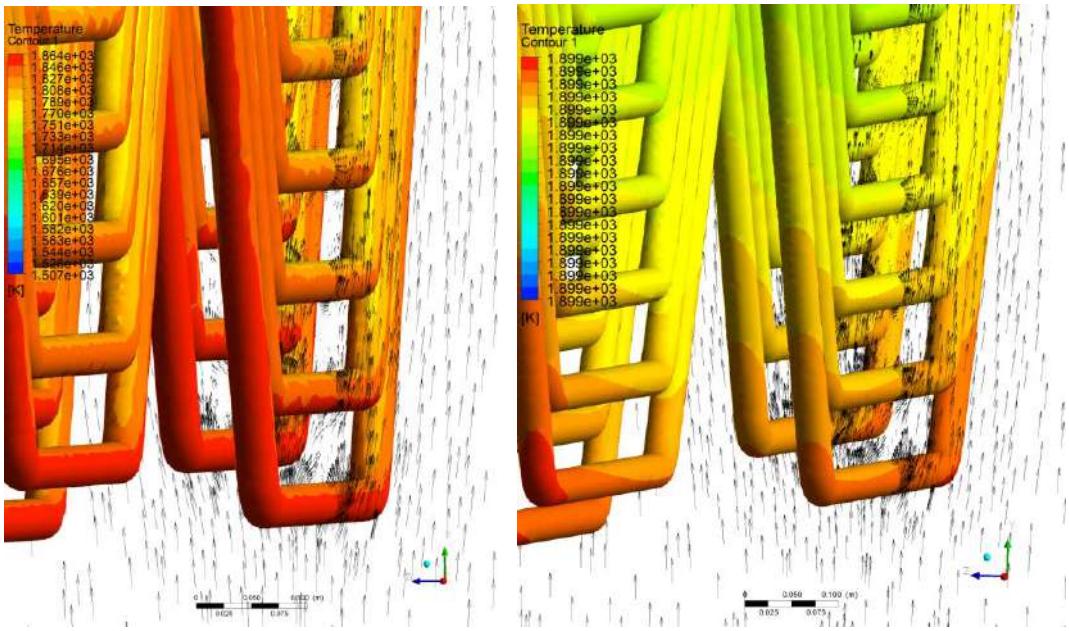



Figura 6. Campo de vetores velocidade do escoamento na base do superaquecedor: (a) sem radiação; (b) com radiação.

## 4. CONCLUSÃO

Verifica-se através dos resultados que a radiação altera significativamente a distribuição de temperaturas e a transferência de calor sobre os tubos. Constata-se que na região de estudo os gradientes de temperatura são maiores quando não se considera a radiação térmica no processo, sendo necessária a consideração deste fenômeno na acurácia da avaliação destes trocadores de calor.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EDP Energia, de Portugal, pelo suporte financeiro a este projeto.

## 6. REFERENCIAS

Kawaji, M., Shen, X. H., Tran H., Esaki, S., Dees, C., 1995. "Prediction of heat transfer in the kraft recovery boiler superheater region. In *TAPPI Journal* 78 (10), 214-221,

Li, B., Brink, A., Hupa, M., 2013. "CFD investigation of slagging on a super-heater tube in a kraft recovery boiler". In *Fuel Processing Technology* 105, 149-153,

Maakala, V., Järvinen, M., Vuorinen, V., 2018. "Optimizing the heat transfer performance of the recovery boiler superheaters using simulated annealing surrogate modeling, and computational fluid dynamics". In *Energy* 160, 361–377.

Maakala, V., Järvinen, M., Vuorinen, V., 2018. "Computational fluid dynamics modeling and experimental validation of heat transfer and fluid flow in the recovery boiler superheater region". In *Applied Thermal Engineering* 139, 222–238.

Nikuradse, J., 1933. "Stromungsgesetze in Rauhen Rohren". In *V. D. I. Forshungsheft* 361.

Park, H. Y., Faulner, M., Turrell, M. D., Stopford, P.J, Kang, D.S., 2010. "Coupled fluid dynamics and whole plant simulation of coal combustion in a tangentially-fired boiler". In *Fuel* 89, 2001-2010.

Patankar, S. V., 1980. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow.* McGraw-Hill, New York. 1th edition.

Ranganayakulu, C., Seetharamu, K. N., 1999. "The combined effects of wall longitudinal heat conduction, inlet fluid flow nonuniformity and temperature nonuniformity in compact tube-fin heat exchangers: A finite element method". In *International Journal of Heat and Mass Transfer* 42 (2), 263– 273.

Siegel, R., Howell, J. R., 1978. *Thermal Radiation Heat Transfer*. Hemisphere Pub. Corp, Washington. 1th edition.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.
The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESCOAMENTO EM TÚNEIS DE VENTO SUBSÔNICOS

**Bruno Bonafé Fogolari**
**Rubens Stuginski Junior**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
*118752@upf.br; rubens@upf.br; mwalber@upf.br*

***Resumo:*** *Túneis de vento são ferramentas de estudo e validação experimental muito importantes para várias áreas da engenharia. A confiabilidade dos dados obtidos em um túnel de vento, assim como a repetibilidade dos experimentos realizados no mesmo, é uma função da qualidade do escoamento na sua seção de testes. Para que a velocidade de escoamento na seção de testes seja homogênea e de baixa intensidade de turbulência, o escoamento deve passar por um processo de tratamento por meio de dispositivos como colmeias e telas. Neste trabalho estes dispositivos foram dimensionados para um túnel de vento subsônico de circuito aberto do tipo soprador. Um sensor de fio quente foi construído e calibrado para a realização das medições de velocidade, e as intensidades de turbulência mensuradas foram comparadas com dados disponíveis na literatura.*

***Palavras chave:*** *túnel de vento, honeycomb, telas, redução de turbulência, anemômetro de fio quente.*

## 1. INTRODUÇÃO

A grande maioria das atividades desenvolvidas pelos seres humanos no planeta Terra é influenciada pela interação entre corpos rígidos e fluidos. Com o advento de veículos que se movem a velocidades relativamente altas dentro da atmosfera terrestre, como veículos automotores e aeronaves, foi necessário um melhor compreendimento da interação entre o movimento relativo entre fluidos e sólidos.

Uma das ferramentas mais importantes para o estudo desta interação são os túneis de vento. Historicamente esta ferramenta surgiu como uma necessidade para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de aeronaves, posteriormente tendo seu uso difundido em uma grande variedade de áreas científicas, abrangendo desde o estudo da ação do vento em edificações até o desenvolvimento de equipamentos esportivos de alta performance.

Para que os dados obtidos em um túnel de vento sejam relevantes e úteis é necessário que as condições na seção de testes sejam similares as encontradas nas condições de operação do problema estudado. Devido ao método de acionamento do túnel de vento, por meio de hélices de um ventilador, o escoamento deve ser tratado antes de adentrar a seção de testes.

Os métodos de tratamento geralmente aplicados dependem da exigência de qualidade do escoamento na seção de testes e influenciam diretamente a potência exigida pelo motor que aciona o túnel e, por consequência, o custo de operação do túnel de vento. É importante então desenvolver metodologias adequadas e optimizadas de tratamento de escoamento, considerando as necessidades dos experimentos a serem realizados no túnel de vento e o custo de operação do mesmo.

O trabalho desenvolvido teve como objetivo o estudo e implementação de metodologias de tratamento de escoamento, fazendo uso de materiais de fácil aquisição e equipamentos desenvolvidos localmente.

## 2. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em duas etapas majoritárias, a primeira compreendendo a construção e calibração de um sensor de fio quente para a medição da turbulência e a segunda compreendendo a construção de um pequeno túnel soprador para o teste das diferentes metodologias de tratamento de escoamento.

Após a construção do túnel de vento, o mesmo foi operado em 3 configurações diferentes, partindo de uma operação sem nenhum dispositivo de tratamento instalado (caso 1) até a configuração final com todos os dispositivos instalados (caso 3).

Após a aquisição de dados para cada caso e a calibração do sensor de fio quente, foi possível comparar a efetividade de cada dispositivo em termos do seu fator de redução de intensidade de turbulência.

No escopo deste trabalho a intensidade da turbulência foi tratada como a razão entre as flutuações de velocidade e a velocidade média do escoamento, como descrito por Jørgensen (2002) (
Figura 1).

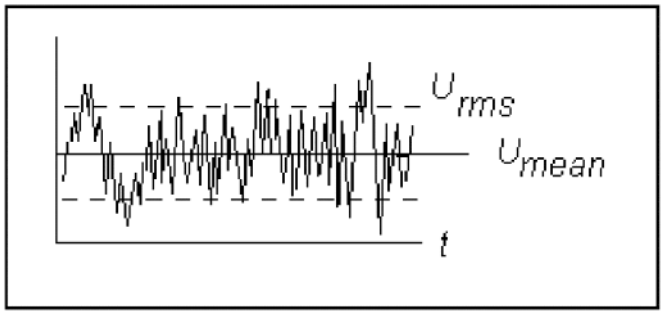



Figura 1 - Representação da velocidade média ($U_{mean}$) e das flutuações de velocidade ($U_{rms}$)

## 2.1 Anemômetro de fio quente

Para que as medições de turbulência fossem realizadas, um anemômetro de fio quente foi construído segundo o projeto de Liljencrants (2006). O circuito foi confeccionado em uma placa de prototipagem e é mostrado na
Figura 2 (A).

A perda de calor convectiva no fio é função da velocidade do escoamento, assim o fio acaba por dissipar mais calor à medida que a velocidade do escoamento aumenta. Para que o fio permaneça a uma temperatura constante, a quantidade de calor injetada no fio deve aumentar e isto é realizado pelo aumento de tensão sobre o fio por meio de um circuito de controle. Essa variação de tensão é então medida e a velocidade do escoamento pode ser correlacionada a ela.

Como o circuito de temperatura constante controla a temperatura do sensor por meio da estabilização de uma ponte de *Wheatstone* (a qual o sensor de fio quente faz parte), é conveniente que um dos resistores da ponte seja ajustável para que a temperatura de operação do sensor possa ser ajustada.

Em modo de operação, quanto maior for a temperatura do sensor menor será o erro em função da variação da temperatura ambiente do ar, porém a temperaturas superiores a 300°C o filamento de tungstênio é rapidamente oxidado. Por questões de estabilidade e integridade do sensor, durante este trabalho a temperatura de operação escolhida de 100°C.

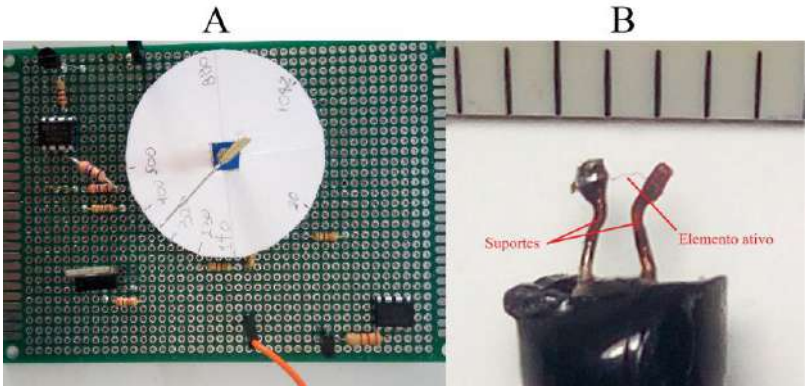



Figura 2 - (A) circuito eletrônico de temperatura constante e (B) sensor de fio quente

O sensor de fio quente em si (
Figura 2 (B)) foi fabricado utilizando o elemento resistivo de uma lâmpada incandescente de baixa potência. O comprimento final do sensor foi igual a 1 mm. A partir da resistência do elemento de fio quente e das propriedades conhecidas do tungstênio foi possível estimar o diâmetro do fio, o qual foi igual a 40 micrômetros. Em comparação a maioria dos sensores comercialmente disponíveis tem como características geométricas um diâmetro de 5-10 micrômetros e comprimento de 1 mm.

A calibração do sensor de fio quente foi realizada utilizando um braço giratório de 1 metro de comprimento, atuado por meio de um servo motor com rotação constante de 60 rpm. Tendo conhecimento da velocidade angular do braço e o seu raio de giro, e considerando o ar na sala parado, foi possível calibrar o sensor para diversas velocidades ao variar sua posição no braço de giro. Os dados de calibração para diferentes velocidades e sua respectiva curva de calibração são apresentados na
Figura 3.

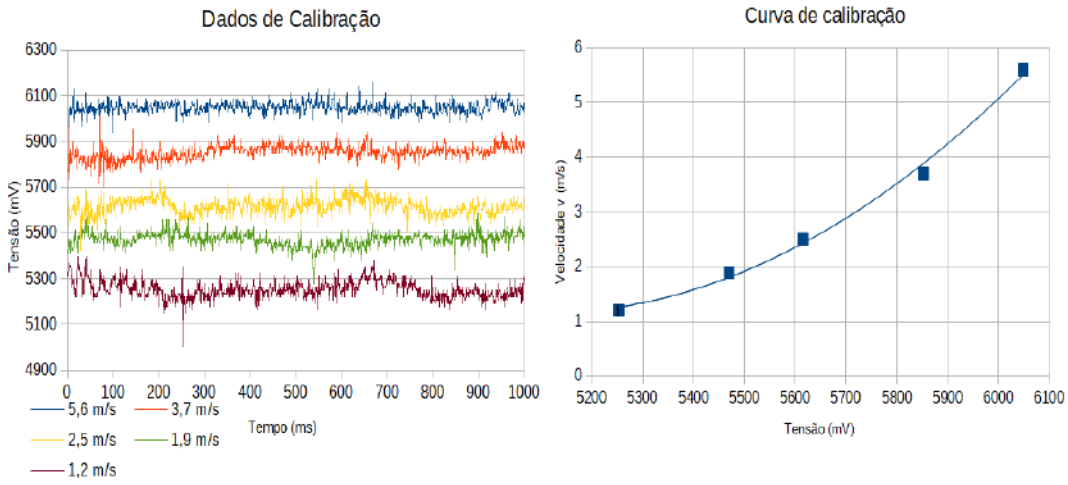



Figura 3 - Dados de calibração (esquerda) e curva de calibração (direita)

Juntamente ao procedimento de ajuste de curva dos dados de calibração foram calculados alguns parâmetros estatísticos, conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 1 - Dados estatísticos do procedimento de calibração

| Valores de calibração | | | |
|---|---|---|---|
| Velocidade (m/s) | Tensão (mV) | Desvio Padrão (mV) | Erro Padrão (mV) |
| 1,2 | 5252,83 | 38,51 | 1,21 |
| 1,9 | 5469,90 | 30,45 | 0,96 |
| 2,5 | 5615,34 | 35,73 | 1,13 |
| 3,7 | 5852,98 | 31,63 | 1 |
| 5,6 | 6048,39 | 23,6 | 0,74 |

## 2.2 Túnel de vento

Para que os experimentos fossem conduzidos, um túnel de vento de bancada no estilo soprador foi construído utilizando um ventilador axial de corrente alternada (110V e 50W), tubulações de PVC e junções de acrílico, como mostrado na
Figura 4. O diâmetro do canal aerodinâmico foi igual a 115 mm e o comprimento total do túnel igual a 1 m.

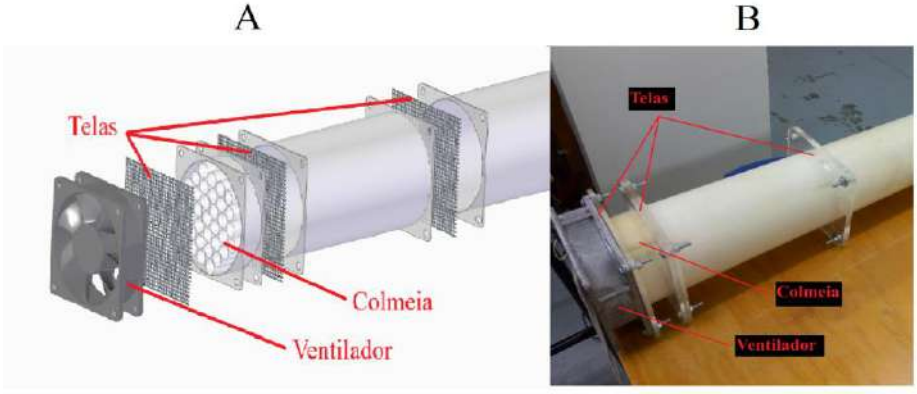



Figura 4 - (A) modelo ilustrativo dos componentes do túnel de vento e (B) protótipo confeccionado

A colmeia foi construída seguindo as recomendações de Mehta e Bradshaw (1979), levando em consideração uma relação entre comprimento da colmeia e diâmetro das células entre 6 e 8. Em virtude do baixo custo, canudos plásticos de 4,6 mm de diâmetro foram escolhidos e desta forma o comprimento da colmeia igual a 32 mm. Seguindo os dados experimentais de Loehrke e Nagib (1976),

Figura **5**, a distância entre o final do conjunto colmeia/tela e a próxima tela foi de 200 mm, em função da redução de ganhos significativos após essa distância.

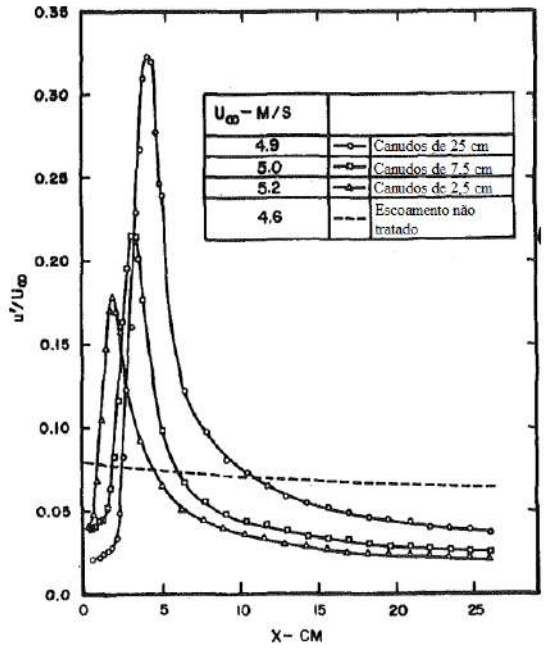



Figura 5 - Intensidade da turbulência (u'/U∞) em função da distância a partir do fim de diferentes (adaptado de Loehrke e Nagib, 1976**)**

A redução de turbulência pela tela é proporcional a perda de carga imposta por ela. O coeficiente de perda de carga foi estimado segundo Groth e Johansson (1988) em função dos seus parâmetros de porosidade e o número de Reynolds baseado na velocidade de escoamento e o diâmetro de fio da tela.

A tela escolhida foi uma tela de aço inoxidável malha 30, com diâmetro de fio 0,23 mm e porosidade 53%. Segundo Scheiman (1988), o fator de redução de turbulência pode ser estimado em função da perda de carga.

Para o estudo dos dispositivos o túnel de vento de bancada foi operado em 3 configurações diferentes, como mostra a

Figura 6. No caso 1, o túnel de vento foi operado sem nenhum dispositivo de tratamento de escoamento. No caso 2 o túnel foi operado com o dispositivo de colmeia e suas telas estruturais. No caso 3 foi adicionada a tela, a qual foi posicionada a 200 mm a partir do conjunto da colmeia.

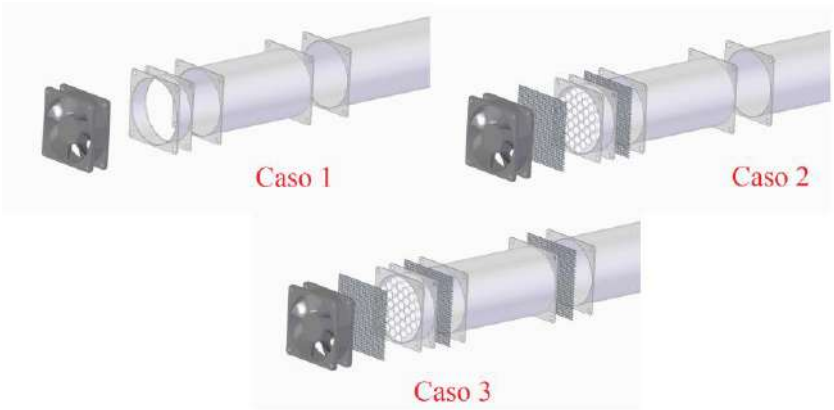



Figura 6 - Representação dos três casos de teste

A aquisição dos dados foi realizada utilizando uma placa Arduino Mega, a uma taxa de amostragem igual a 1 kHz. A filtragem foi realizada analogicamente somente para a eliminação de frequências oriundas da rede elétrica (~60Hz). Posteriormente os dados foram manipulados utilizando o software *Scilab*.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a calibração do sensor de fio quente, foram coletados os dados de velocidade nos três casos de operação descritos anteriormente. Utilizando a correlação de calibração, os valores de tensão elétrica foram convertidos em valores de velocidade, e a intensidade da turbulência e a velocidade média puderam ser avaliados de forma quantitativa.

### 3.1 Caso 1

No caso 1 o túnel de vento foi acionado sem nenhum dispositivo de tratamento em seu circuito. Foi possível perceber pulsações de velocidade intermitentes no escoamento durante esta configuração. Como esperado, o valor de intensidade de turbulência medido nesta configuração foi alto, representativo de um escoamento não tratado. A Figura 7 apresenta o perfil de velocidade medido nesta configuração.

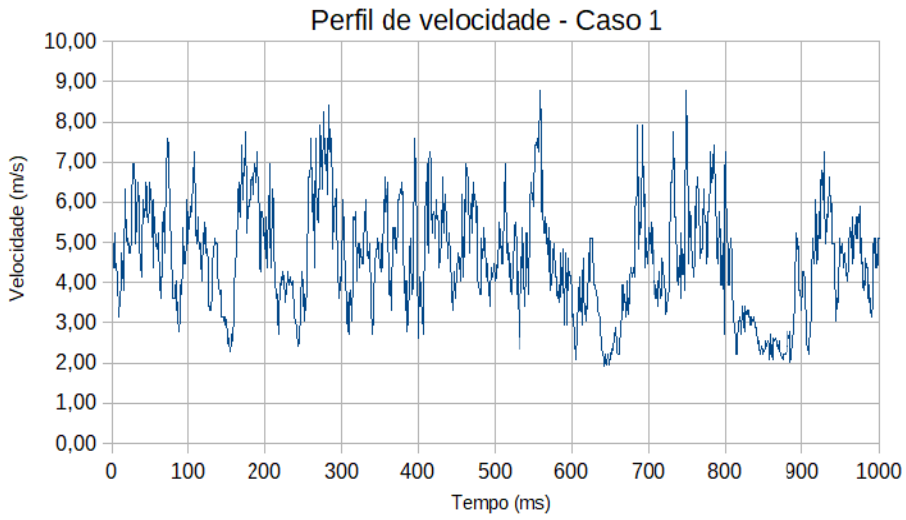



Figura 7 - Perfil de velocidades do caso 1

É possível, a partir da Figura 7, perceber estruturas intermitentes de velocidade de no perfil de velocidades. Possivelmente este fenômeno decorre de alguma interação de ressonância entre o escoamento giratório produzido pelo ventilador axial e o tubo que compõe o túnel de vento.

### 3.2 Caso 2

No caso 2 o túnel de vento foi acionado com o conjunto colmeia e suas duas telas estruturais. O processamento do sinal foi feito de forma similar ao caso anterior e o perfil de velocidade para esta configuração de operação é apresentado na Figura 8.

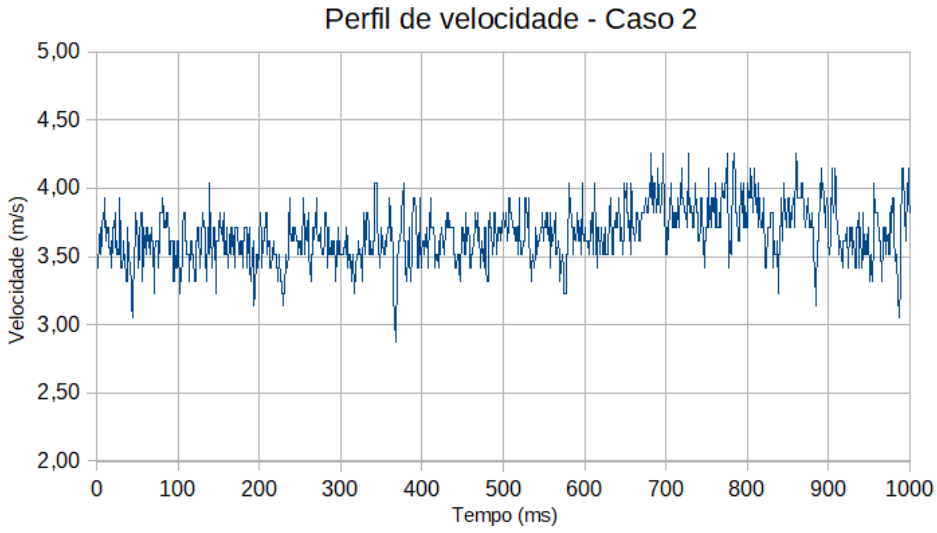


Figura 8 - Perfil de velocidades do caso 2

A intensidade da turbulência foi reduzida consideravelmente em comparação ao caso 1, demonstrando a efetividade do conjunto colmeia e tela como dispositivo de tratamento de escoamento. Vale a pena ressaltar que a velocidade média diminuiu em comparação ao caso anterior, resultado da perda de carga imposta pelo dispositivo de tratamento.

### 3.3 Caso 3

No caso 3 o túnel de vento foi acionado com o conjunto colmeia tela e mais uma tela posicionada a 20 cm de distância, como ilustrado na
Figura 4. Os dados foram coletados e processados de forma similar aos casos anteriores e são apresentados na Figura 9.

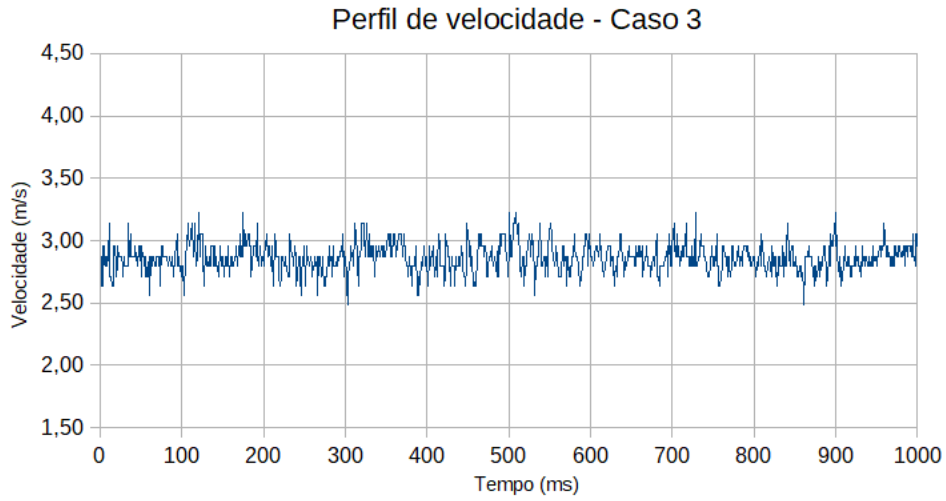



Figura 9 - Perfil de velocidades do caso 3

A intensidade da turbulência no caso 3 foi ainda menor em comparação com a medida no caso 2, demonstrando a operação bem-sucedida da segunda tela. De forma igual ao caso anterior, a velocidade média do escoamento decresceu em função da perda de carga de imposta pela tela.

### 3.4 Resultados Gerais

Para uma visão geral da performance dos dispositivos a Tabela 2 ilustra o comportamento dos parâmetros de intensidade de turbulência e velocidade de escoamento nos três casos estudados.

Tabela 2 - Resultados gerais

| Características do escoamento | | | |
|---|---|---|---|
| Configuração de Operação | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 |
| Intensidade da Turbulência(%) | 29,41 | 5,43 | 4,04 |
| Velocidade Média (m/s) | 4,61 | 3,66 | 2,86 |

Foi possível concluir que os dispositivos de tratamento de escoamento foram eficazes em reduzir a intensidade da turbulência, resultando em melhores condições na seção de testes do túnel. Como os fatores de redução de turbulência são inversamente proporcionais a perda de carga, foi possível também observar a redução da velocidade de escoamento média em cada caso, resultado do funcionamento correto dos dispositivos.

## 4. CONCLUSÕES

Por meio da literatura foram identificados dois diferentes dispositivos para o tratamento do escoamento em túneis de vento subsônicos: a colmeia e a tela. Constatou-se que a performance dos dispositivos depende não somente das suas geometrias mas também das suas disposições no circuito do túnel de vento.

Para que a performance dos dois tipos de dispositivos estudados pudesse ser avaliada, um pequeno túnel de vento de bancada foi construído a partir de um ventilador axial e tubos de PVC. A colmeia, como constatado na literatura, foi construída utilizando canudinhos plásticos e as telas utilizadas foram recortadas a partir de uma tela tramada de aço inoxidável.

Para a aquisição dos dados de velocidade um sensor de fio quente e seu circuito de operação foram construídos. O circuito foi construído utilizando uma placa de prototipagem utilizando um design simples sugerido pela literatura. O sensor foi confeccionado a partir de um filamento de tungstênio extraído de uma lâmpada incandescente de baixa potência.

No primeiro caso o túnel foi operado sem nenhum dispositivo de tratamento, o que acarretou na maior intensidade de turbulência. Nos casos subsequentes, a inclusão de mais dispositivos levou a diminuição da intensidade da turbulência e também na redução da velocidade média do escoamento, como esperado.

Pôde-se concluir que os dispositivos estudados e confeccionados foram eficazes em tratar o escoamento no túnel de vento utilizado. O anemômetro de fio quente funcionou de forma correta, provendo dados de qualidade para os experimentos.

## 5. REFERENCES

Groth, J.; Johansson, A. V. Turbulence reduction by screens. Journal of Fluid Mechanics, v. 197, p. 139-155, 1988.

Jørgensen, Finn E. How to measure turbulence with hot-wire anemometers – a practical guide. Dantec Dynamics, 2002.

Liljencrants, J. Thermal anemometers. 2006. Out. 2018.<http://www.fonema.se/anemom/anemom.html>.

Loehrke, R. I.; Nagib, H. M. Control of free-stream turbulence by means of honeycombs: a balance between suppression and generation. Journal of Fluids Engineering, v. 98, n. 3, p. 342-351, 1976.

Mehta, R. D.; Bradshaw, P. Design rules for small low speed wind tunnels. The Aeronautical Journal, v. 83, n. 827, p. 443-453, 1979.

Scheiman, J. Comparasion of Experimental and Theoretical Turbulence Reduction Characteristics for Screens, Honeycomb, and Honeycomb-Screen Combinations. NASA Technical Papers, 1988.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UMA AERONAVE RADIOCONTROLADA BASEADA NO DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE

**Camile Dolzan Machado**
**Rubens Stuginski Junior**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR-285, São José, Passo Fundo/RS:99052-900
142766@upf.br; rubens@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo:*** *Desempenho na aeronáutica é a área que estuda as características de como o avião está respondendo as forças aerodinâmicas que atuam durante um voo. O desempenho é dividido em cinco fases: decolagem, voo em subida, voo em cruzeiro, voo planado e pouso. O presente trabalho tem como objetivo buscar os melhores modelos teóricos de equacionamento de desempenho para seguir, bem como o estudo sobre o desempenho, e também a criação de um software na linguagem Fortran, baseado nestes modelos teóricos encontrados nas literaturas, a fim de poder gerar as curvas de desempenho, em Gnuplot, do aeromodelo da UPF para ajudar o projeto SAE AeroDesign, a melhorar os seus parâmetros e assim contribuir para um melhor desempenho do aeromodelo. Os resultados gerados serão comparados com a literatura em relação as altitudes, a fim de se entender se está ou não correto.*

***Palavras chave:*** *Desempenho de aeronaves; programa; software; fases de voo.*

## 1. INTRODUÇÃO

O comportamento das diferentes fases de voo na aeronáutica, é estudado na parte chamada de desempenho. Com essa análise pode-se responder perguntas em relação a autonomia do avião, distância de decolagem, compreender a velocidade máxima do avião, entre outros questionamentos. O desempenho estuda como as forças aerodinâmicas atuam em um voo.

A análise de desempenho tem um importante papel na aeronáutica, pois através dela pode-se melhorar os padrões de voo de um avião, baseado em mudança de dados, conforme o que se estuda na literatura sobre cada coeficiente do avião e as influências que os mesmos têm em cada variável de desempenho. (Anderson, 2015)

No presente trabalho, baseado nos estudos feitos no segundo semestre de 2018 sobre desempenho, foi desenvolvido um *software* em FORTRAN, com geração dos gráficos de desempenho do aeromodelo em Gnuplot. Com isso busca-se ajudar o projeto da universidade a conseguir melhorar os parâmetros dos seus aviões baseado no desempenho dele, gerado pelo programa. Foi realizado também um estudo da influência da altitude no desempenho do aeromodelo, a fim de entender como e quanto a variação da mesma afeta o voo do avião.

### 1.1 Objetivos

Este estudo tem como objetivo geral desenvolver um *software* para a geração e análise das curvas de desempenho de uma aeronave radiocontrolada. Especificamente, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Reunir as equações de desempenho para as diferentes fases de voo;
- Gerar curvas de desempenho para uma aeronave radio controlada;
- Desenvolver o programa para gerar as curvas de desempenho;
- Analisar o desempenho em relação as suas variáveis.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão apresentadas considerações sobre o trabalho em relação as diferentes literaturas utilizadas.

### 2.1 Desempenho

Desempenho é a área da aeronáutica que estuda como um avião responde as forças aerodinâmicas que nele atuam. O desempenho tem extrema importância, pois com ele pode-se prever como o avião vai se comportar em um voo, pode-se gerar gráficos e estimativas para assim poder adaptar o avião as diferentes condições de voo. Desempenho é também de extrema importância para as companhias aéreas de modo a determinar como as aeronaves podem operar de forma mais eficiente e econômica (SAARLAS, 2007).

O cálculo de desempenho permite estimar todo o chamado envelope de voo de uma aeronave, ou seja, todos os seus limites de operação e também é a partir dele que se trata do grupo motopropulsor do avião.

O avião, para estudo de desempenho, é considerado um corpo no qual atuam quatro forças, empuxo (T), arrasto (D), sustentação (L) e peso (W). Desempenho se baseia em como o avião vai responder a estas quatro forças. Para estudar o desempenho se considera que os aerodinamicistas passaram os dados prontos do avião e agora a preocupação se concentra em formar as equações e gráficos para estimar o desempenho do mesmo (RODRIGUES, 2010).

## 2.2 Atmosfera

A atmosfera ISA (*International Standard Atmosphere*), é um padrão atmosférico que tem por objetivo mostrar como a pressão, densidade, viscosidade e temperatura variam em função da altitude. A atmosfera está sempre em estado de fluxo. A composição da mesma, hoje em dia, varia com as altitudes e o local do planeta. (ROSKAM e LAN , 1997).

Os aviões são veículos atmosféricos que voam dentro da atmosfera sensível. Como não se pode determinar todas as variações presentes na mesma, a atmosfera padrão é utilizada de modo que se possa relacionar o desempenho e ensaios de tuneis de vento, a uma atmosfera em referência. A mesma foi mensurada e colocada em tabelas a fim de facilitar a utilização dos seus valores por engenheiros aeroespaciais. (DINGLE e TOOLEY , 2005).

## 2.3 Grupo motopropulsor

O motor convencional usado na aviação, é o motor de combustão interna, utilizando o ciclo de Otto. Este tipo de motor consome combustível em cilindros confinados, gerando potência, a qual é usada para gerar energia e transmitir para o virabrequim que transmite a potência para a hélice. Essa potência é definida como potência do freio do eixo. Nem toda essa potência é disponibilizada para mover o avião, parte dela se dissipa pela ineficiência da hélice. A potência disponível que é a potência gerada pelo motor do avião.

## 2.4 Voo em cruzeiro

A força de sustentação (L) é, obviamente, responsável pela sustentação da aeronave e ela é oriunda da diferença de pressão entre o intradorso e extradorso da aeronave. A força de arrasto (D) sempre é oposta ao movimento da aeronave. O empuxo (T) é originado do grupo motopropulsor do avião, e é responsável por impulsionar a aeronave e sua principal função é vencer a força de arrasto e proporcionar subsídios aerodinâmicos para geração de sustentação necessária para vencer o peso. A força peso (W) é originada da gravidade e está presente em qualquer peso, na aerodinâmica ela precisa ser vencida pela força de sustentação (RODRIGUES, 2010).




Figura 1. Forças aerodinâmicas
Fonte: Rodrigues,2010, p.147

Para o estudo aqui realizado se considera o voo em cruzeiro, no caso em que a aceleração é considerada igual a zero, e o desempenho de aviões nessa condição de voo é chamado desempenho estático, com isso tem-se as seguintes equações de movimento:

$$T \cos \alpha_T = D \quad (1)$$

$$L + T \sin \alpha_T = W \tag{2}$$

Na maioria dos cos $\alpha_T$ é muito pequeno e com isso $\cos \alpha_T$ é próximo de 1 e $\sin \alpha_T$ é próximo de zero, assim obtendo-se um voo em cruzeiro sem aceleração, onde as forças T e D, L e W, se equilibram.

### 2.5 Empuxo necessário para voo em nível sem aceleração

Para um avião voando em um voo estável, a planta de potência do mesmo deve produzir um empuxo que seja igual ao arrasto e uma sustentação igual ao peso. Com isso, simplificando as equações, considerando os coeficientes e o peso, obtém-se:

$$T_R = \frac{W}{C_L/C_D} = \frac{W}{L/D} \tag{3}$$

Existe uma medida de eficiência do avião, descrita como razão de sustentação/arrasto (L/D). A máxima eficiência do avião, então, se dá quando essa razão for máxima, ponto no qual a tração é mínima, fazendo com que essa medida seja de total importância no projeto de aeronaves (ANDERSON, 2015).

### 2.6 Empuxo disponível e potência disponível

O empuxo disponível ($T_A$) depende estritamente do motor do avião, ou seja, ele é disponibilizado pela combinação motor convencional-hélice. A potência disponível ($P_A$) é então gerada pelo motor do avião, como discutido na seção de grupo motopropulsor. Ambas as variáveis variam com a altitude. A curva de empuxo disponível, em relação a velocidade pode ser descrita a partir da Figura 2 (ANDERSON, 2015).

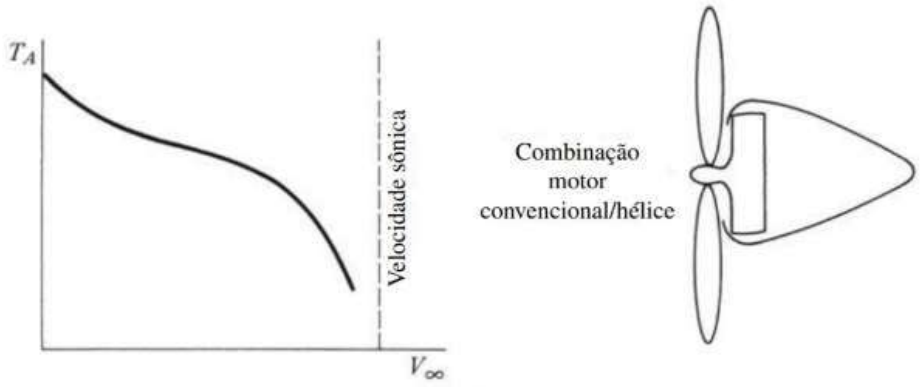



Figura 2. Empuxo disponível
Fonte: Anderson, 2015, p. 458

Não existe uma equação correta que descreva essas variáveis, por isso, neste estudo, estas curvas serão baseadas nos dados reais do grupo motopropulsor.

### 2.7 Potência necssária

A potência associada com um objeto em movimento é o produto da força pela velocidade. Considerando um avião, o empuxo é descrito pela variável, $T_R$,então como consequência disso, a potência necessária ($P_R$) é descrita por:

$$P_R = T_R V_\infty \tag{4}$$

### 2.8 Voo em subida

A subida de uma aeronave é descrita como sendo as trocas de energia entre o motor e as energias cinéticas e energias potenciais da aeronave (SAARLAS, 2007).

Voo em subida é a etapa que se encontra entre o voo em cruzeiro e a decolagem do avião, pode ser entendida como a etapa necessária para que o avião ganhe altitude (GARCIA, 2018). Considera-se um avião em voo de subida estável e não acelerado, como mostrado na Figura 3.

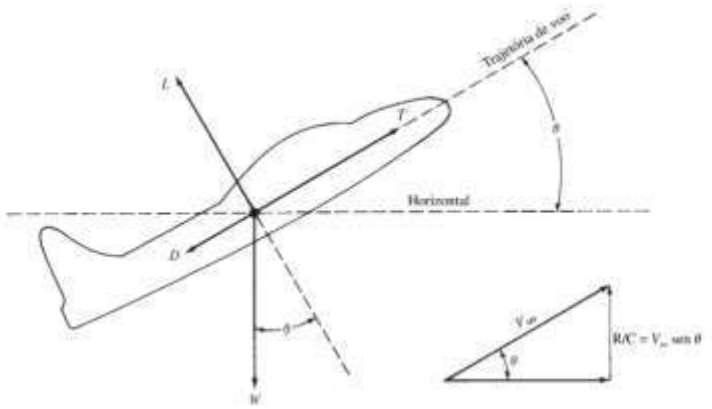



Figura 3. Diagrama voo em subida
Fonte: Anderson, 2015, p.480

A diferença sobre o voo em nível e o voo em subida, como pode-se observar, é que a tração não deve só superar o arrasto, mas ela também sustenta uma componente do peso, multiplicando a equação gerada pela análise de forças pela velocidade obtém-se:

$$TV_\infty = DV_\infty + WV_\infty \sin\theta \tag{5}$$

Na equação 5, $TV_\infty$ é a potência disponível, e representada pelas curvas de $P_A$, e $DV_\infty$, é a potência necessária para um voo em nível, e representada pelas curvas de $P_R$. Assim, considerando-se valores pequenos de $\theta$ ,pode-se definir a equação da razão de subida como o de excesso de potência, que nada mais é que a diferença entre a potência disponível e necessária, dividido pelo peso (ANDERSON, 2015).

$$R/C = \frac{excesso\ de\ pot}{W} \tag{6}$$

## 2.9 Voo planado

Voo planado ocorre na etapa entre voo em cruzeiro e pouso, é a descida do avião, ou seja, a perca de altitude. Quanto melhor a razão de planeio, melhor o desempenho do avião ao voar sem propulsão.

Nesta etapa de voo, as forças que atuam sobre o avião são sustentação, arrasto e peso, a tração é zero, pois considera-se que os motores estão desligados, como mostrado na Figura 4.

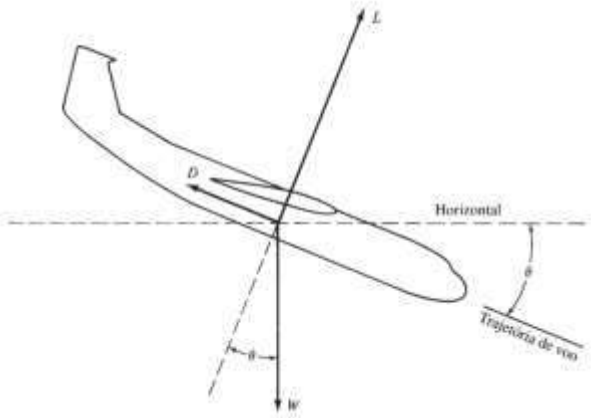



Figura 4. Diagrama voo planado
Fonte: Anderson,2015, p.488

Analisando a figura e fazendo as simplificações necessárias, obtém-se:

$$\tan\theta = \frac{1}{L/D} \tag{7}$$

O ângulo de planeio então, é função de L/D, então quanto maior essa razão, mais raso vai ser o ângulo de planeio, e com isso conclui-se que o menor ângulo de planeio de equilíbrio, vai ocorrer quando a razão sustentação/arrasto for máxima, que corresponde ao alcance máximo para planeio, ou seja, nesse ponto o avião tem a sua maior eficiência, gerando menor arrasto e maior sustentação, planando mais. (ANDERSON, 2015).

## 2.10 Decolagem

Decolagem na aeronáutica é a fase de voo que compreende a corrida para que um avião consiga ganhar potência o suficiente para sair do chão, e conseguir se sustentar no ar.

A equação para calcular a distância necessária para que o avião saia do chão está descrita abaixo:

$$SLO = \frac{1{,}44W^2}{g\rho_\infty S C_{Lmax}\{T - [D + \mu_r(W - L)]_{av}\}} \tag{8}$$

## 2.11 Aterrissagem

Aterrissagem significa a distância que um avião precisa, em solo, para que consiga uma parada completa. Isso ocorre com os motores gerando zero tração e se torna desejável uma pequena distância de aterrissagem a fim de se obter um bom desempenho.

A equação para cálculo do desempenho na aterrissagem está apresentada abaixo:

$$SL = \frac{1{,}69W^2}{g\rho_\infty C_{Lmax}[D + \mu_r(W - L)]_{0{,}7V_T}} \tag{9}$$

## 2.12 Efeito da altitude

A altitude tem um efeito nas curvas de potência necessária e potência disponível de um avião. Em relação ao nível do mar, as curvas de $P_R$ em altitude sofrem uma translação para cima e para a direita, e também uma rotação no sentido horário.

Com relação a $P_A$, ela é reduzida, em decorrência da menor densidade do ar em altitude, fazendo com que a velocidade máxima varie com a altitude, diminuindo a potência disponível.

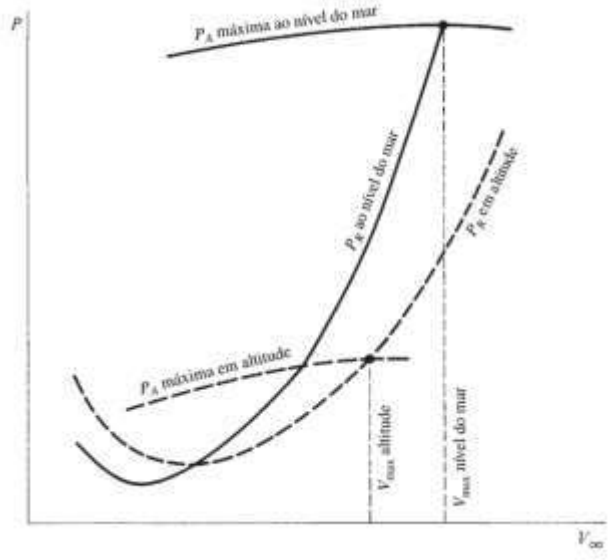



Figura 5. Efeito da altitude
Fonte: Anderson, 2015, p.471

Como a influência da altitude está diretamente ligada as potências necessária e disponível, entende-se então, que isto gerará uma variação no desempenho de todas as outras fases de voo, isto acontece por que todas as fases de voo dependem das potências, ou seja, todas tem, seja a tração, seja a potência em suas equações, afinal as mesmas estão diretamente ligadas com o grupo motopropulsor, e então em relação a isto, em altitude, como o ar é mais rarefeito, as massas específicas são menores, isto faz com que a combustão seja menos eficiente em locais mais altos, por que o ar possui menos oxigênio, danificando o desempenho da aeronave (ANDERSON, 2015).

## 3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando os *softwares* Fortran e Gnuplot, a fim de gerar um programa que executasse as equações mencionadas na etapa de revisão bibliográfica, a fim de gerar os gráficos de desempenho do aeromodelo do projeto SAE AeroDesign da Universidade de Passo Fundo, para por fim poder analisar e entender como funciona o desempenho do avião e como ele varia, e também ajudar os participantes do projeto a conseguirem melhorar os seu voo e desempenho de voo baseado nos gráficos e análise dos gráficos gerados. Nas tabelas que seguem serão apresentados os dados de entrada para teste do programa e análise do desempenho.

A análise de desempenho no presente trabalho consiste em variar a altitude em que o programa é executado, a fim de entender o que isto fará no desempenho do avião, entendendo que a literatura apresenta que a variação da altitude faz com que o desempenho também varie.

Para o desempenho do motor em relação as potências disponíveis e necessárias, voo em subida e voo planado, utilizaram-se os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Informações para o desempenho do motor

| **Dados do avião** | |
|---|---|
| Envergadura (b) | 2,52 m |
| Área da asa (S) | 0,93 m² |
| Peso (W) | 147 N |
| Coeficiente de arrasto parasita ($C_{D0}$) | 0,023 |
| Fator de eficiência de *Oswald* (e) | 0,9 |
| Razão de aspecto (RA) | 6,82 |

Para a análise de desempenho na aterrissagem e decolagem, foram utilizados alguns dados a mais, por que nesta etapa deve-se considerar os efeitos que o solo causa no avião, os dados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Informações para a análise de desempenho da aterrisagem

| **Dados do avião** | |
|---|---|
| Razão de aspecto (RA) | 6,82 |
| Área da asa (S) | 0,93 m² |
| Envergadura (b) | 2,52 m |
| 2h/b | 0,146 |
| Ângulo de ataque | 0º |
| t/c | 0,12 |
| Razão de aspecto efetiva ($RA_{EFF}$) | 15,15 |
| h/c | 0,59 |
| Coeficiente de sustentação ($C_L$) | 1,3 |
| Tração (T) | 38 N |
| Aceleração da gravidade (g) | 9,81 m/s² |
| Peso (W) | 147 N |
| Coeficiente de atrito ($\mu$) | 0,033 |
| Massa específica ($\rho$) | 1,225 kg/m³ |
| Corda (c) | 0,31 m |
| Altura (h) | 0,184 m |
| Coeficiente de arrasto L=0 (CD0) | 0,023 |
| Coeficiente de arrasto induzido (CDI) | 0,0789 |
| Coeficiente de arrasto (CD) | 0,1019 |

Após a criação do programa e a inserção dos dados de entrada no mesmo, foram geradas e analisadas as curvas de desempenho do avião.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, serão apresentadas as considerações sobre o programa, o qual desenvolveu um bom desempenho para a geração das curvas. O Fortran mostrou ser um bom programa para gerar resultados com precisão, visto que as curvas geradas possuíram uma boa precisão, então o programa desenvolvido pode agora ser usado pelos alunos da Universidade de Passo Fundo, participantes do projeto AeroDesign para gerar o desempenho do aeromodelo, a fim de conseguir o relatório e dados necessários para competições ou melhoramentos do avião.

Em relação aos testes do programa, serão apresentados em gráficos os resultados desenvolvidos pelo software.

Antes de apresentar os resultados, deve-se dizer que ρ1 é a massa específica para o nível do mar, ρ2 para Passo Fundo e ρ3 para São Paulo. Então a seguir serão apresentados os gráficos e as considerações necessárias.

### 4.1 Potência necessária e diponível

O gráfico apresentado na Figura 6 mostra a variação das potências disponível e necessária com a altitude, a potência necessária é representada pelas parábolas com a concavidade voltada para cima e as potências disponíveis com a concavidade voltada para baixo.

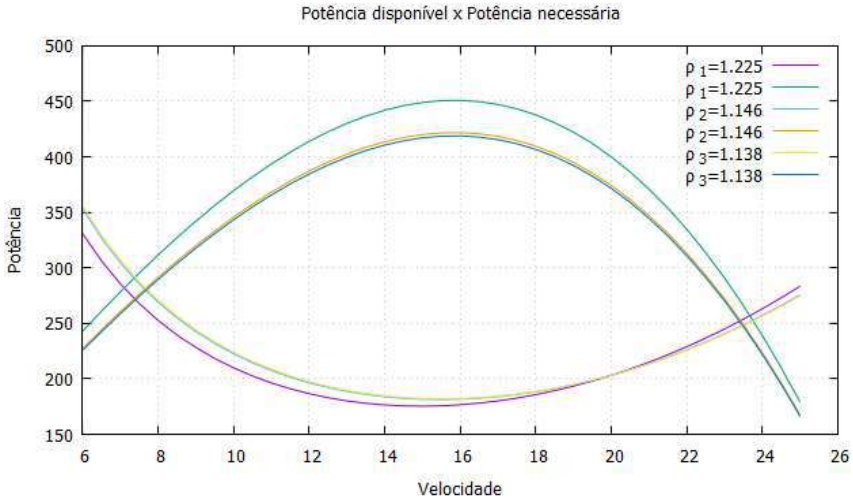



Figura 6. Resultados das potências

Como se pode perceber com este gráfico, à medida que se aumenta a altitude a potência disponível diminui, em decorrência do ar mais rarefeito. Já a potência necessária se desloca para a direita e rotaciona no sentido horário, conforme apresentado na literatura.

### 4.2 Razão de subida

O gráfico a seguir, apresentado na Figura 7, representa a razão de subida nas altitudes desejadas, isto é, o desempenho do avião na fase compreendida entre a decolagem e o voo em cruzeiro.

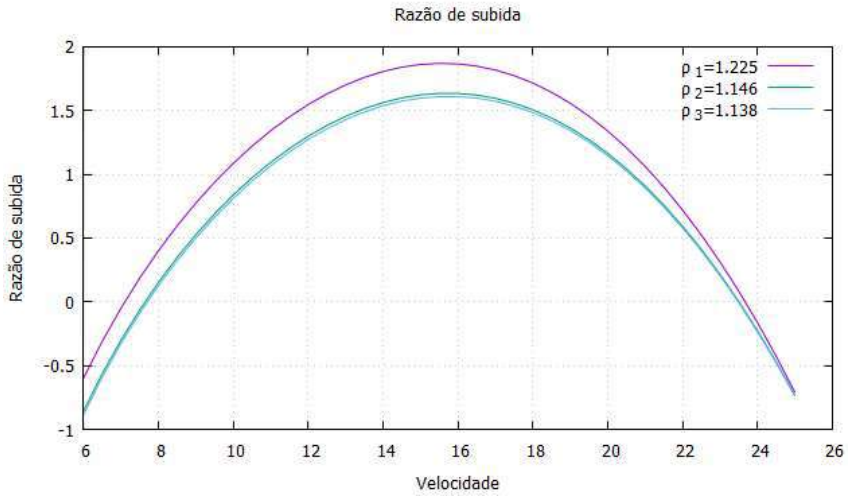



Figura 7. Resultados de razão de subida

Como pode-se perceber, à medida que se aumenta a altitude a razão de subida diminui, justamente pelo fato de que em locais mais elevados as potências diminuem.

### 4.3 Voo planado

A razão de planeio compreende a etapa entre o voo em cruzeiro e a aterrisagem. Ela é função da razão sustentação/arrasto, o menor ângulo de planeio, representa a maior razão sustentação/arrasto então mais o avião vai planar, tendo um melhor desempenho. A Tabela 3 mostra estas informações.

Tabela 3. Informações para razão de planeio

| Altitude | Velocidade (m/s) | Ângulo (°) |
|---|---|---|
| Nível do mar | 20 | 3,9532 |
| Passo Fundo | 20 | 3,9536 |
| São Paulo | 20 | 3,9547 |

A partir da tabela percebe-se que o ângulo ótimo de planeio não varia muito com a altitude, sendo independente dela, o mesmo acontece com as velocidades.

### 4.4 Decolagem

A decolagem foi estudada considerando todos os efeitos solo nela presentes, apresentados nas sessões de revisão bibliográfica e metodologia. A Figura 8 apresenta os resultados de desempenho na decolagem:

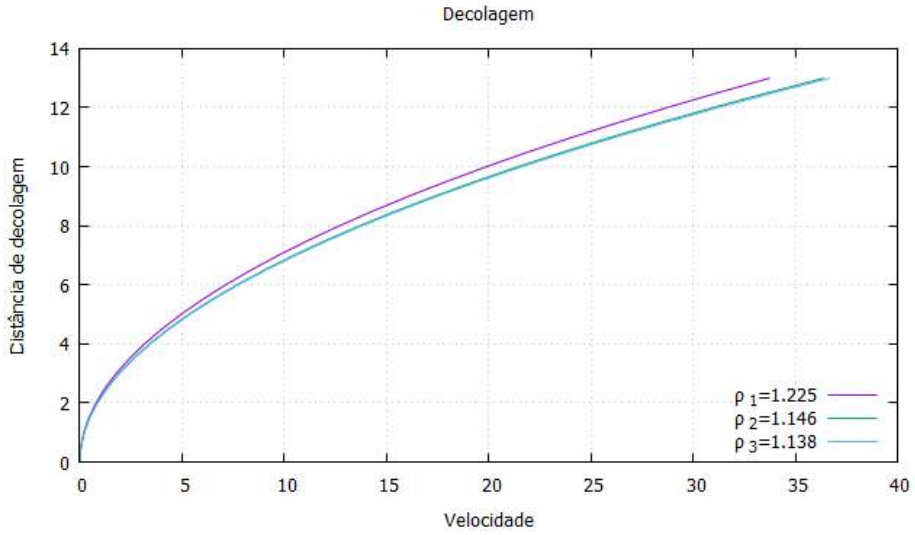



Figura 8. Resultados decolagem

Percebe-se então, que a altitude altera sim o desempenho na decolagem, visto que em nível do mar ela é consideravelmente maior do que nos dois outros lugares estudados, tudo isto em decorrência da massa específica gerar uma menor potência em altitude.

### 4.5 Aterissagem

Para as curvas de aterrissagem, considerou-se todos os efeitos solos necessários, a Figura 9 mostra os resultados desta etapa da pesquisa:

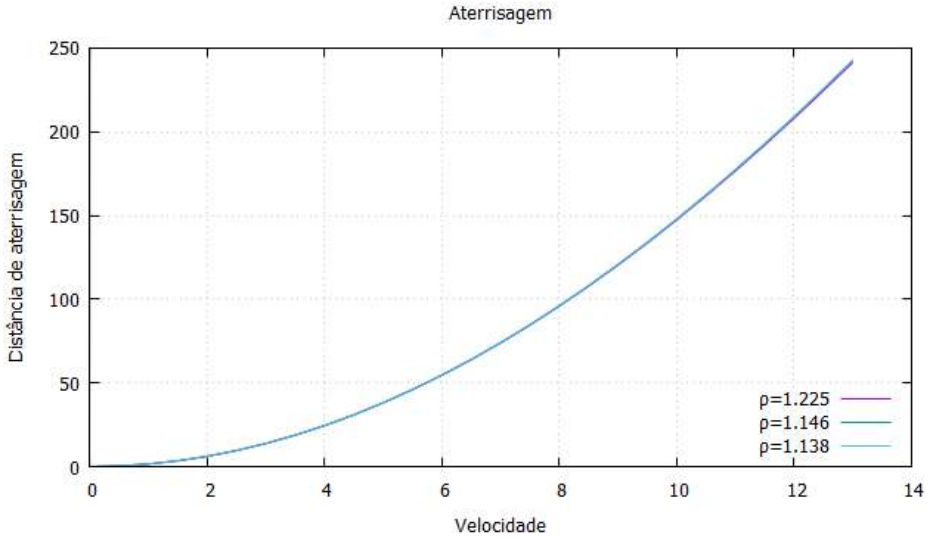



Figura 9. Resultados aterrissagem

Pode-se perceber, então, que a altitude não influencia significativamente na aterrissagem, as curvas geradas ficaram aproximadamente umas sobre as outras, isto se dá pelo fato de que na aterrissagem a tração é igual a zero, assim a massa específica não tem influência no empuxo pois ele não existe, fazendo com que o desempenho seja praticamente o mesmo para qualquer lugar em que o avião voar.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos dados analisados no presente trabalho, conclui-se então que a variação da massa específica provoca alterações nas potências, tanto necessária quanto disponível. Em decorrência disso, muda o excesso máximo de potência que por sua vez aumenta ou diminui a razão de subida. Quanto maior a altitude, menor a massa específica e então

menor a potência disponível em decorrência do ar mais rarefeito, consequentemente haverá uma menor potência necessária, e isso causará um menor excesso de potência em altitude, causando uma menor razão de subida em altitude.

Em relação ao melhor ângulo de planeio, ele é obtido na velocidade que proporciona uma melhor razão L/D a qual apresenta o menor ângulo para planeio. Percebe-se então, pela tabela apresentada nos resultados que não variou muito este ângulo com a altitude, para todos os lugares ficou na velocidade de 20 m/s com variação apenas após a terceira casa no ângulo.

Na etapa da decolagem, percebe-se que ela variou significativamente com a massa específica. Percebe-se também que quanto maior a altitude, maior a distância necessária para decolagem, isto pode ser explicado pela questão de quanto maior a altitude menor são as potências, então como em uma altitude mais elevada se tem menor potência, a distância que vai se precisar para o avião adquirir velocidade suficiente para sair do solo vai ser maior.

Para a aterrissagem percebe-se que a distância variou minimamente entre uma altitude e outra, isto pode ser explicado pelo fato de ter-se considerado a tração igual a zero para todos os casos, por que na aterrissagem, os motores estão desligados.

Com presente trabalho se chegou nos dados de desempenho do aeromodelo do projeto SAE AeroDesign da UPF, entendendo também o porquê de certos resultados e de como o avião vai variar seu desempenho com a variação da altitude, visto que o avião é testado na região de Passo Fundo, mas compete em São Paulo. Conseguiu-se também um software de precisão para se gerar o desempenho do aeromodelo sem precisar fazer ensaios de voo, o que faz com que esta análise seja mais barata e de mais fácil acesso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. D. **Fundamentos de Engenharia Aeronautica**. 7. ed. Porto Alegre : McGraw- Hill, 2015.
DINGLE, ; TOOLEY ,. **Aircrft Engineering Principles**. 1. ed. Oxford : Elsevier Butterworth Heinemann, 2005.
GARCIA, M. L. **Análise de Desempenho de uma Aeronave Executiva a Jato**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia , p. 11. 2018.
RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da Engenharia Aeronautica**. 1. ed. São Paulo: Edição do autor , 2010.
ROSKAM, D. J.; LAN , D. C.-T. E. **Airplane, Aerodynamics and performance**. 1. ed. Lawrence : DRAcorporation , 1997.
SAARLAS, M. **Aircraft Performace**. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2007.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE TROCADOR DE CALOR DE DUPLO TUBO

**Daniel Dornelles Peter**
**Luis Edson Saraiva**
**Marcio Walber**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
152676@upf.br; saraiva@upf.br; mwalber@upf.br.

***Resumo:*** *O presente trabalho detalha como é o funcionamento de um software para o dimensionamento de trocadores de calor de duplo tubo, utilizando dados usuais para determinação dos coeficientes convectivos. Buscou-se desenvolver o software, para que, através de parâmetros de fácil compreensão e uso intuitivo, o operador consiga manuseá-lo e obter o cálculo da área de troca, além de outros resultados. Primeiramente, foram apresentadas todas as etapas que são usadas para o seu funcionamento em fluxogramas em sequência, conforme o procedimento de cálculo do software. Os fluidos para a composição do software foram selecionados com base no que é mais utilizado na indústria em geral. Foram escolhidas as correlações com base em suas precisões e uso, para o cálculo dos coeficientes de troca térmica. Desta forma, será possível a implementação do algoritmo em uma linguagem computacional de alto nível, para automatizar os cálculos, agilizando a parte de cálculo em um projeto de tais trocadores de calor.*

***Palavras chave:*** *Trocador de calor; software; Programação.*

## 1. INTRODUÇÃO

Trocadores de calor são dispositivos que promovem a transferência de calor entre dois fluidos em escoamento e são largamente utilizados em indústrias químicas, alimentícias, refinarias de petróleo, usinas termoelétricas, entre muitas outras áreas.

Em um trocador de calor, dois fluidos circulando em um arranjo de tubos, transferindo calor entre si. Essa transferência ocorre do fluido que possui maior energia para o fluido de menor energia interna.

O projeto de trocadores de calor pode se tornar caro e demorado, devido ao grande número de variáveis necessárias para o seu dimensionamento. Muitas vezes, para dimensionar um trocador de calor de forma que seu projeto se torne viável, é necessário realizar o seu cálculo térmico de forma iterativa, de modo que inúmeras variáveis alcancem valores tais que satisfaçam os balanços de massa e energia.

Uma das formas para agilizar este processo, é a criação de um software para o seu dimensionamento, podendo então, o projetista recalcular várias vezes, levando apenas minutos. Sendo assim, será criado um algoritmo computacional, que será implementado em uma linguagem computacional de alto nível, contendo uma sequência de procedimentos para o cálculo das variáveis, para que o projetista possa analisar os resultados e chegar a uma solução que satisfaça os parâmetros do projeto.

## 2. METODOLOGIA

Nesta seção irá ser abordado o funcionamento do software, para isso será feito um delineamento da sequência de cálculo, junto com uma explicação das etapas e equações. Para a definição das equações que serão usadas e do método de cálculo, foi usado como base o livro de Kakaç & Liu (2002).

Para que o software funcione como planejado, é necessário fazer uma série de perguntas ao usuário, assim, limitando conforme os dados planejados para o funcionamento do mesmo e definindo como será o funcionamento do trocador de calor que será projetado. Essas perguntas são as seguintes:

- Qual será o fluido frio/quente?
- Temperatura de entrada do fluido ?
- Temperatura de saída do fluido?
- Velocidade do fluido?
- Qual o material desejado para os tubos?
- Qual as dimensões dos tubos?

- Qual dos fluidos irá escoar pelo tubo interno?
- Qual a direção de escoamento dos fluidos?

Conforme as respostas escolhidas pelo usuário, o software irá se direcionar para o caminho escolhido, definindo assim, os valores para os cálculos necessários para dimensionar o trocador de calor. Esses valores são definidos pelo usuário, mas o software o limita quando excede o valor permitido. Podem ser observados quais são os dados de entrada e alguns dos principais dados de saída, na Figura 1.




Figura 1 – Parâmetros

## 2.1 Fluido frio e fluido quente

Quando o usuário escolhe um dos fluidos de trabalho, que compõem o software, o software chama uma sub-rotina para realizar as perguntas dos parâmetros de entrada de cada fluido e gravar as respostas, em valores, definidas pelo usuário, para então ler em um arquivo externo, em forma de tabela, com os valores das propriedades do fluido escolhido, a partir da temperatura média, que pode ser obtida a partir das temperaturas de entrada e saída definidas pelo usuário.

Na Figura 2 pode ser observado como é a sequencia de etapas, após a escolha dos fluidos, feitas pelo usuário. É dessa forma que é feito para os dois fluidos, o quente e o frio, separadamente.

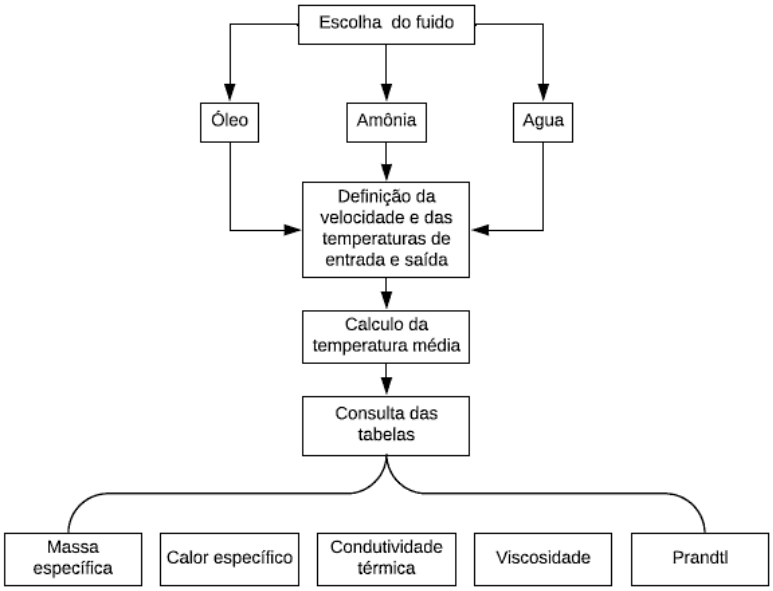



Figura 2 - Fluxograma escolha do fluido

## 2.2 Material dos tubos

A segunda etapa do software é para a determinação do material e dimensões dos tubos para o trocador de calor. Para isso, o software irá chamar uma sub-rotina para que o usuário escolha o material do fluido. A Figura 3 mostra um esquema de como é o processo de escolha dos diâmetros para os tubos do trocador de calor.

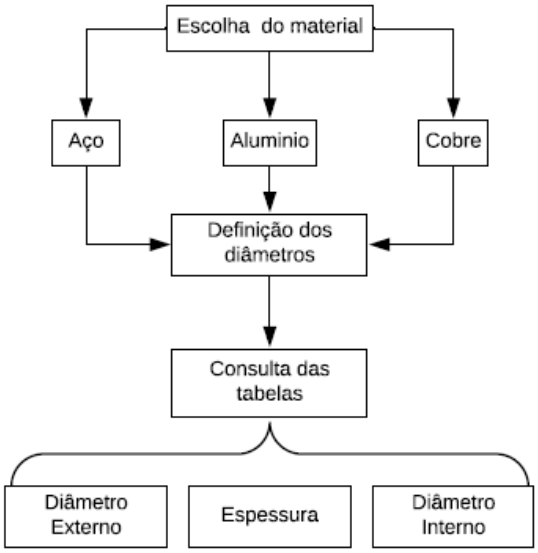



Figura 3 - Fluxograma dos diâmetros

Os diâmetros disponíveis para a escolha do usuário são definindo conforme a norma de cada material, para os diâmetros da tubulação em aço é usado a norma ASTM A179 em polegadas , já para a tubulação em alumínio é usado a norma ASTM B2 10 (tipo 6061-T6) e para a tubulação em cobre usa-se a norma ASTM B75, ambos em polegadas. Os tubos são sem costura e como esse software é para dimensionamento térmico, não há limitação pela resistência do material. Quando o usuário escolhe usar uma combinação de amônia com o material dos tubos em cobre, o software informa para o usuário que o uso dessa combinação não é indicado, devido a incompatibilidade química entre os elementos.

Conforme a escolha do material da tubulação, o software define o valor para o coeficiente de transferência de calor por condução do material (k) em Watt por metro grau Celsius (W/m°C), esse valor está predefinido internamente no software e seus valores são o seguinte:

- Condutividade do aço k=52 W/m°C;
- Condutividade do alumínio k=250 W/m°C;
- Condutividade do cobre k=385 W/m°C.

Com os diâmetros definidos, pode ser determinado o raio interno do tubo interno e externo, que é necessário para o coeficiente de troca térmica por convecção do fluido interno.

### 2.3 Localização dos fluidos

A próxima etapa do software é a definição de onde cada fluido, definido anteriormente pelo usuário, irá escoar. A pergunta do software é em relação ao tubo interno, então faz-se o seguinte questionamento: "qual dos fluidos irá escoar pelo tubo interno?", sendo as opções: fluido frio ou fluido quente. Esse questionamento voltado para o tubo interno é para a determinação de qual dos fluidos irá usar o diâmetro equivalente para os próximos cálculos. A Figura 4 mostra um fluxograma de como é feita a escolha do fluido que irá usar o diâmetro equivalente para o processo de cálculo.

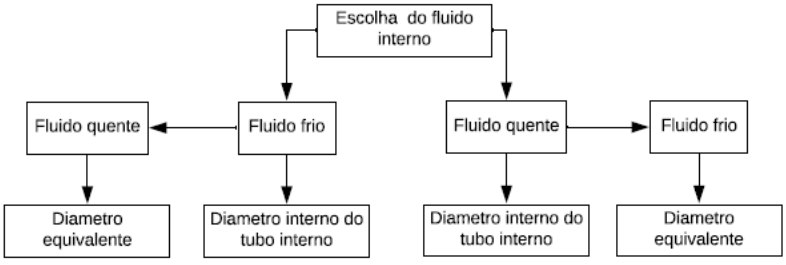



Figura 4 - Fluxograma da localização dos fluidos

Conforme a escolha do fluido que escoa pela parte interna, o software irá definir o diâmetro equivalente para o fluido que escoar pela parte anular da tubulação. Após da definição do diâmetro equivalente, e do fluido que será usado

para esta seção, automaticamente, define-se támbem, através da espessura do tubo e seu diâmetro externo do tubo cental, o seu diâmetro interno, que serve para cálculos de parâmetros do fluido que irá escoar pelo mesmo, com isso, termina a etapa de localização dos fluidos, possibilitando seguir os cálculos.

### 2.4 procedimento de cálculos para o coeficiente global de transferência de calor

A próxima etapa é a definição do coeficiente de troca térmica do trocador de calor. Com os parâmetros definidos anteriormente, juntamente com uma serie de outros parâmetros que serão mostrados, é possível a sua determinação.

#### 2.4.1 Coeficiente de transferência de calor por convecção para o fluido quente e frio

Para a obtenção do coeficiente de transferência de calor por convecção do fluido quente é necessário determinar alguns parâmetros. Primeiramente o número de Reynolds para o fluido quente e para o fluido frio. Vale lembrar que o diâmetro quente ou frio é o diâmetro selecionado conforme a localização do fluido na tubulação, podendo ser o diâmetro equivalente ou o diâmetro interno do tubo interno, se for definido o escoamento do fluido na parte anular ou interna, respectivamente.

Posteriormente o coeficiente de fricção da tubulação em que escoa o fluido quente. Este coeficiente é necessário para determinar o número de Nusselt e sua equação depende do material da tubulação. Como no software são usados materiais que são considerados hidraulicamente lisos, usa-se apenas a equação que é para tubos hidraulicamente lisos.

Antes do cálculo do número de Nusselt, será necessário um teste para saber se a correlação escolhida é valida para o sistema em questão. São eles:

**a) Correlação de Petukhov**
- Número de Prandtl (Pr) entre 0,5 e 2000
- Número de Reynolds (Re) entre 10000 e 5x106
- Relação entre as viscosidades, entre 0,08 e 40

**b) Correlação de Gnielinski**
- Número de Prandtl (Pr) entre 0,5 e 2000
- Número de Reynolds (Re) entre 3000 e 2x104
- Relação entre as viscosidades, entre 0,08 e 40

Feito esses testes de compatibilidade entre os dados já obtidos e os testes para validar as correlações, é possível obter o número de Nusselt através da correlação aceita.

Com o número de Nusslet e os outros parâmetros já determinados, obtem-se então o coeficiente de transferência de calor por convecção para o fluido quente, por Petukhov e por Gnielinski.

Com esses parâmetros definidos, acaba-se o processo de cálculo dos parâmetros para o fluido quente e frio.

#### 2.4.2 Coeficiente global de transferência de calor

Esta etapa será para o cálculo do coeficiente global de troca térmica do sistema que será definido conforme os coeficientes de transferência de calor por convecção e por condução. Este coeficiente é específico de cada sistema de trocador de calor, dependendo dos fluidos e do material, usados para o trocador de calor. Primeiramente o software define qual é o coeficiente de transferência de calor por convecção que será usado na seção externa e interna do trocador de calor, isso vai depender da escolha do tubo que escoa pela parte interna, pergunta respondida pelo usuário anteriormente. Pode ser observado um fluxograma da escolha dos coeficientes na Figura 5.

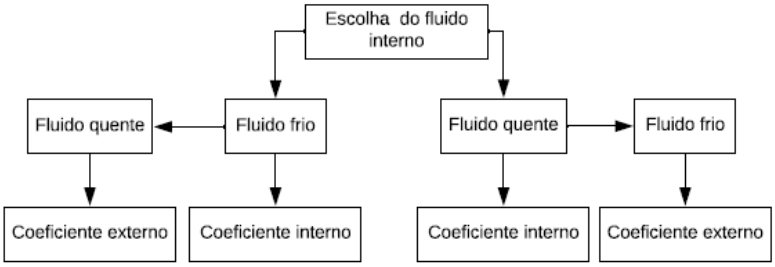



Figura 5 - Fluxograma dos coeficientes

O coeficiente global de troca térmica é determinado a partir da correlação de Petukhov e por Gnielinski. Com os coeficientes globais de troca de calor determinados, é possível seguir para a próxima etapa, que é para a obtenção da taxa de transferência de calor.

### 2.5 Taxa de transferência de calor

A taxa de transferência de calor é quanto é a troca de energia na forma de calor, por unidade de tempo. Com esses parâmetros e a média logarítmica de temperatura, que será mostrada posteriormente, pode ser determinado o parâmetro final que é o comprimento necessário da tubulação, para o funcionamento do trocador de calor.

### 2.6 Direções dos escoamentos

Com o questionamento do software sobre como será a direção dos escoamentos, contracorrente ou concorrente, é possível determinar qual será a equação utilizada para o cálculo da média logarítmica das diferenças de temperatura. Na Figura 6 pode ser observado um esquema de como é escolhido a equação, a partir da resposta do usuário sobre as direções do escoamento.

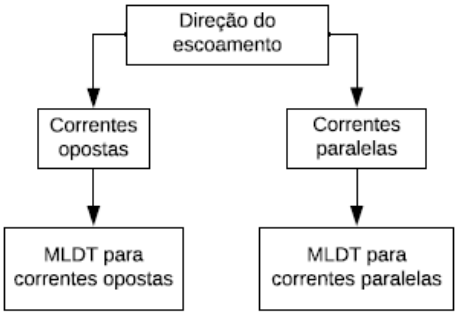



Figura 61 - Fluxograma MLDT

Conforme a escolha das direções dos fluidos, o software direciona para uma das equações específicas. Quando os fluidos escoam em contracorrente, a média logarítmica das diferenças de temperatura é determinada atráves de uma equação, diferente de quando os fluidos escoam em concorrente, que a média logarítmica das diferenças de temperatura é obtida a partir de uma outra equação. Com todos esses parâmetros determinados, pode ser assim determinado o comprimento da tubulação do trocador de calor, que é o principal parâmetro de saída do software.

### 2.7 Comprimento do trocador de calor

Por fim, será calculado o comprimento necessário para atender a taxa de calor requerida para as devidas temperaturas desejadas, o comprimento do trocador de calor pela correlação de Petukhov pode ser calculado pela equação (1).

$$LPk = \frac{Q_h}{(\pi \cdot d_{ei}) \cdot UPk \cdot (\mathrm{MLDT})} \quad (1)$$

Onde: LPk é o comprimento dos tubos pela correlação de Petukhov, em metros (m); Qh é a taxa de transferência de calor, em Joule por segundo (J/s); Dei é o diâmetro externo do tubo interno, em metros (m); UPk é o coeficiente global de troca de calor pela correlação de Petukhov, em Watt por metro quadrado e graus Celsius (W/m²°C); MLDT é a média logarítmica das diferenças de temperatura, sendo adimensional.

### 2.8 Funcionamento do software

Nesta seção, será mostrado o funcionamento do programa, os parâmetros de entrada, as decisões tomadas pelo projetista e as decisões tomadas pelo software. Também será mostrado o software em funcionamento e testado os seus resultados.

O software foi planejado com o objetivo de facilitar e acelerar o projeto de um trocador de calor de duplo tubo, pois esse projeto depende de repetições para encontrar o melhor arranjo de fluxo e propriedades que atendem a necessidade de troca térmica, mas ele possui algumas limitações, que sã elas:

- Faixa de temperaturas entre 0 a 100°C
- O escoamento deve estar em regime turbulento.

- Imprecisão nas temperaturas das paredes internas
- O escoamento deve ser plenamente desenvolvido do ponto de vista da camada limite hidrodinâmica, ou seja, possuir uma velocidade media quase constante.
- São aceitos apenas diâmetros padronizados pela indústria, seguido de normas.

Após o usuário executar o software, irá aparecer à tela inicial, Figura 7, primeiramente, mostram-se as opções de fluidos que o software comporta, sendo que o usuário terá que escolher a opção conforme o numero indicado ao lado do fluido.




Figura 72 - Tela inicial

O primeiro fluido que o usuário irá escolher é o fluido frio, ou seja, o fluido com menor temperatura dentre os dois fluidos que compõem o sistema de troca térmica. Neste caso, será escolhida a amônia como fluido frio, ou seja, "opção 2".

Após a escolha do fluido frio, será a vez de determinar as temperaturas e a velocidade deste fluido, a Figura 8 mostra como é feita essa determinação, observa-se que junto com o enunciado das temperaturas, há também a faixa de temperaturas aceitas pelo software e logo após, é mostrado algumas faixas de velocidades para determinados fluidos.




Figura 8 - Temperaturas fluido frio

Para o fluido frio, foi determinada uma temperatura de entrada de 20°C e a temperatura de saída de 50°C, juntamente com uma velocidade de 30m/s. Após a seleção dos valores para o fluido frio, o software irá precisar que o usuário informe o fluido quente juntamente com suas temperaturas e a sua velocidade.




Figura 93 - Temperaturas fluido quente

Observa-se que as orientações que foram mostradas na escolha das temperaturas e da velocidade do fluido frio, estão sendo informadas ao usuário, na escolha do fluido quente. Para essa simulação, o fluido quente será a água e suas temperaturas de entrada e saída são 90°C e 70°C, respectivamente, e a sua velocidade será 2m/s.

A próxima etapa será a escolha do material para os tubos e seus diâmetros. Para a tubulação, o software disponibiliza três materiais, podendo ser, tubulação em aço, em alumínio ou em cobre. Os diâmetros são normatizados e forma selecionados conforme seu uso para esta aplicação, como trocador de calor. A norma selecionada para atender a tubulação em aço é a ASTM A179, a norma para atender a tubulação em alumínio é a ASTM B2 10 (tipo 6061-T6) e a norma para a tubulação em cobre é a ASTM B35. Os diâmetros normatizados são em polegadas, mas conforme a Figura 10 o software disponibiliza os diâmetros no sistema métrico em milímetros. A primeira tubulação que será dimensionada é a tubulação interna.

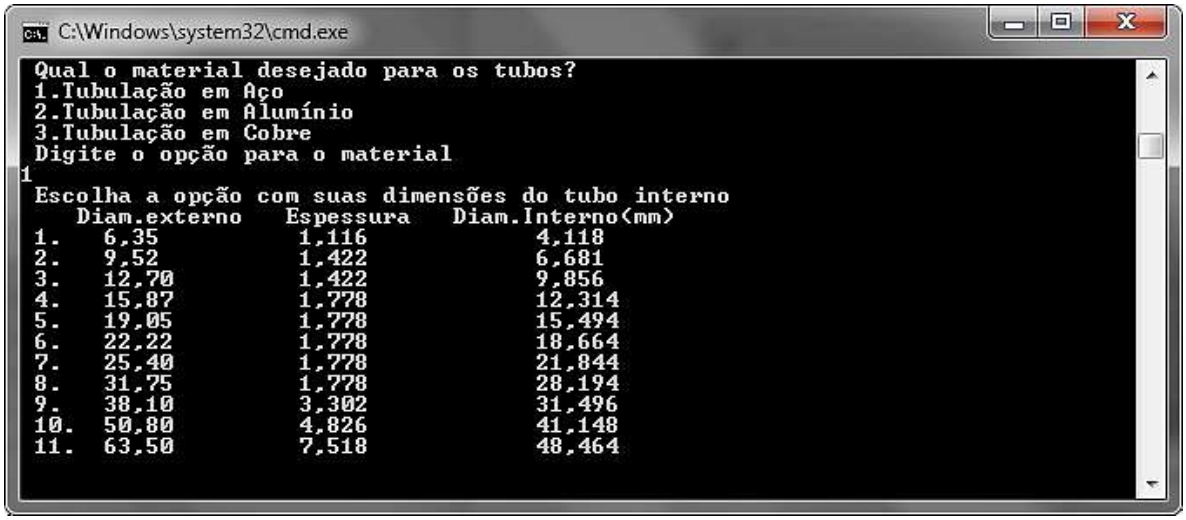



Figura 10 – Tubulação interna

Para essa simulação irá ser usado à tubulação em aço, e os diâmetros da tubulação interna serão, diâmetro externo 6,3mm (1/4in) e diâmetro interno de 4,118 (1/6in), para isso basta apenas digitar o numero da opção, que é a "opção 1".

O próximo item a ser determinado é a tubulação externa, obviamente terá de ser maior que o diâmetro externo da tubulação interna, caso contrario o software irá avisa-lo e voltar as etapas de dimensionamento da tubulação, para o inicio. A Figura 11 mostra como pode ser selecionado a tubulação externa e suas opções de diâmetros.




Figura 114 - tubulação externa

Neste caso, foi selecionada a opção seis para o tubo externo, sendo assim, seu diâmetro externo é 22,22mm (7/8in) e o interno é 20,45mm (3/4in).

Caso os números de Reynolds dos fluidos não forem aceitos conforme as correlações, aparecerá na tela a seguinte mensagem, Figura 12. Se o usuário escolher continuar, os resultados só servirão para que o usuário consulte as propriedades do fluido, extraídas da tabela. Se o usuário escolher a opção de não continuar, o software irá reiniciar.

Como neste caso que está sendo simulado, o número de Reynolds é aceitável, o software irá para a próxima etapa, que é a determinação de qual dos fluidos irá escoar pela parte interna e como serão as direções dos fluxos (Figura 13). Para esse exemplo, o fluido que irá escoar pela parte interna, será o fluido quente, "opção 2", ou seja, a água. As direções do escoamento dos fluidos serão de forma opostas uma a outra, "opção 1".




Figura 125 - Erro Reynolds

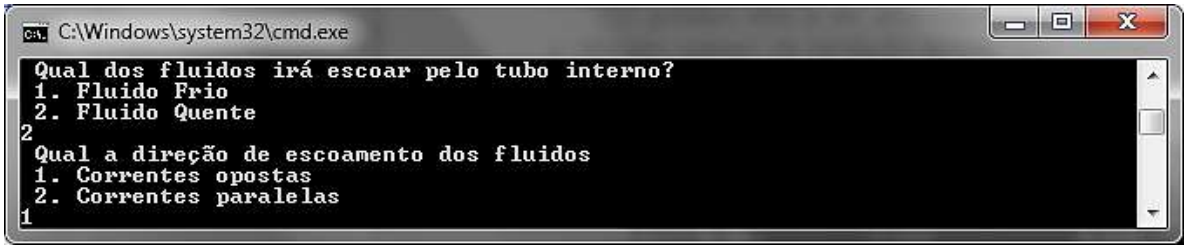



Figura 136 - Arranjo do fluxo

Após todas essas decisões tomadas, o software mostrará os resultados na tela, Figura 14, e também salvará os resultados em um arquivo de bloco de notas (.txt), para que o usuário possa gravar os resultados de uma forma fácil e então, após um enter, encerrará o programa.

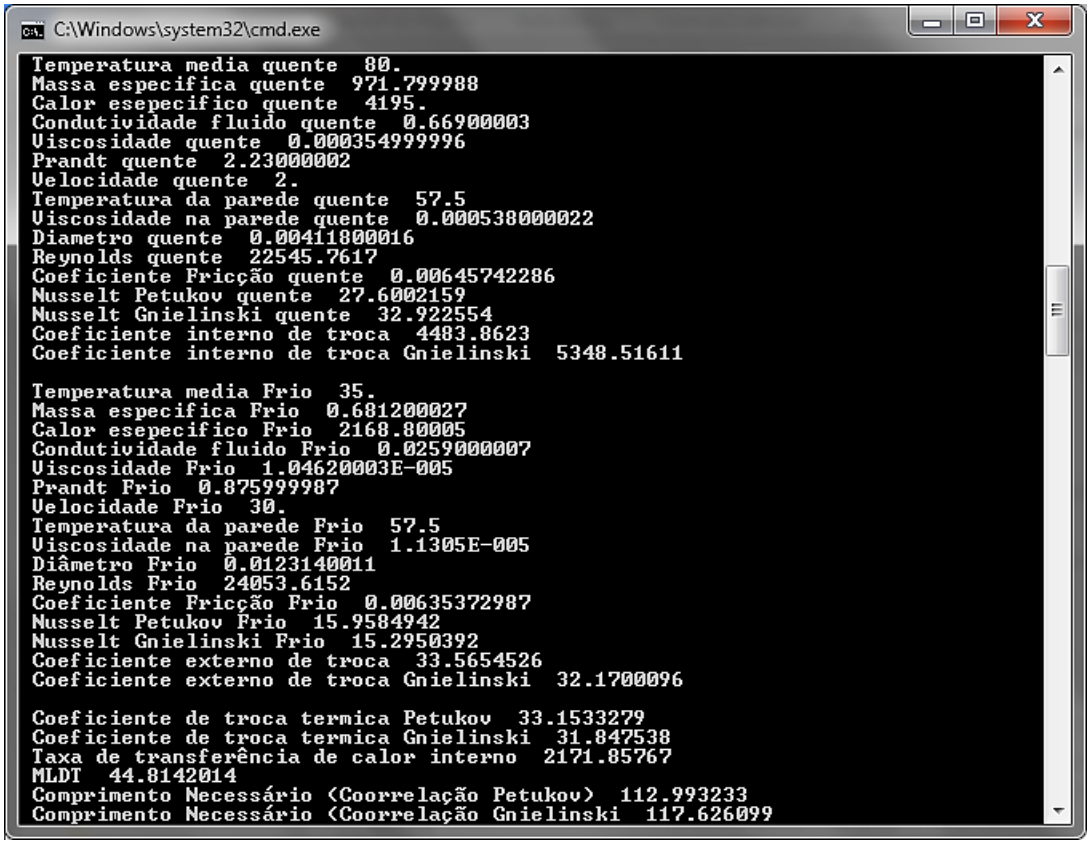



Figura 14 – Resultados

Na Figura 15 pode ser observado a imagem de uma planilha criada para verificação dos valores obtidos através do programa, pode ser observado a compatibilidade dos valores plotados pelo programa e pela planilha.

| Fluido Quente | | | Fluido Frio | | | Resultados | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Temperatura de entrada** | **90** | | **Temperatura de entrada** | **20** | | Taxa de Transferência de calor h | 2171,857951 |
| **Temperatura de saída** | **70** | | **Temperatura de saída** | **50** | | Taxa de Transferência de calor c | 321,6687189 |
| Temperatura média | 80 | | Temperatura média | 35 | | Temperatura da parede | 57,5 |
| **Velocidade** | **2** | | **Velocidade** | **30** | | **Viscosidade da parede (quente)** | 0,0005375 |
| **Diametro Externo** | **0,00635** | 1/4 | **Diametro Externo** | **0,02222** | 7/8 | **Viscosidade da parede (frio)** | 0,000011305 |
| **Espessura** | **0,001116** | 0 | **Espessura** | **0,001778** | 0 | MLDT | 44,81420118 |
| Diametro Interno | 0,004118 | 1/6 | Diametro Interno | 0,018664 | 3/4 | Coeficiente global | 33,15847183 |
| **Massa específica** | **971,8** | | **Massa específica** | **0,6812** | | Comprimento necessário | 112,9756986 |
| **Calor Específico** | **4195** | | **Calor Específico** | **2168,8** | | Concorrente | |
| **Condutividade Térmica** | **0,669** | | **Condutividade Térmica** | **0,0259** | | ΔTe | 70 |
| **Viscosidade** | **0,000355** | | **Viscosidade** | **0,000010462** | | ΔTs | 20 |
| **Prandt** | **2,23** | | **Prandt** | **0,876** | | MLDT | 39,91178001 |
| **Seção** | **Interna** | | **Seção** | **Anular** | | | |
| Diâmetro para calculo | 0,004118 | | Diâmetro para calculo | 0,012314 | | | |
| Raio externo | 0,003175 | | Raio externo | 1 | | | |
| Raio interno | 0,002059 | | Raio interno | 1 | | | |
| Resultados Fluido Quente | | | Resultados Fluido Frio | | | | |
| Área | 1,33187E-05 | | Área | 0,009671393 | | Contra Corrente | |
| Vazão massica | 0,025886269 | | Vazão massica | 0,004943882 | | ΔTe | 40 |
| Reynolds | 22545,76 | | Reynolds | 24053,61346 | | ΔTs | 50 |
| Coeficiente de fricção | 0,006457423 | | Coeficiente de fricção | 0,00635373 | | MLDT | 44,81420118 |
| Nusselt Petukov | 27,61006205 | | Nusselt Petukov | 15,95827141 | | | |
| Nusselt Gnielinski | 26,3854388 | | Nusselt Gnielinsk | 5,76176753 | | Material | |
| Coeficiente de troca Ptk | 4485,461757 | | Coeficiente de troca Ptk | 33,56498534 | | **Condutividade térmica** | **52** |

Figura 15 – Resultados planilhas

## 3. CONCLUSÕES

Feito o algoritmo e incorporando o mesmo em um compilador Fortran, de acordo com a metodologia proposta nesse trabalho, obtive-se um software, de fácil interação com o usuário, precisando tomar apenas pequenas decisões, das quais, com conhecimento básico sobre troca de calor, qualquer usuário terá condições de determinar o comprimento de tubo necessário para o trocador de calor.

Foram necessárias algumas correções quanto ao roteiro de cálculo, assim como a seleção de dados, como nos casos do número de Prandtl e da viscosidade. No entanto, software funciona como desejado, funcionando de forma que automatiza o processo de cálculo iterativo de um trocador de calor, podendo perfeitamente auxiliar no projeto de um trocador de calor de duplo tubo, devido ao seu algoritmo em linguagem computacional.

Paralelamente com o *software*, foi desenvolvida uma tabela, criada em um programa de planilhas, para testar o software. A tabela foi configurada a partir de cálculos manuais. Sendo assim os resultados da tabela é confiável. Os valores obtidos através do software coincidem com os resultados obtidos no na tabela. O software, também possui as propriedades, em tabelas, para consulta de dados internamente, essas tabelas são consultadas pelo software de forma automática, sem a necessidade de o usuário ter que informar os dados dos fluidos.

As correlações incorporadas no software são utilizadas nos projetos de trocadores de calor, isso devido a sua baixa porcentagem de erro, ou seja, os valores obtidos através dessas correlações são muito próximos aos valores reais que acontecem durante o fenômeno de troca de calor, durante o funcionamento de um trocador de calor por exemplo. Os diâmetros que compõe o software foram selecionados conforme as normas de seus respectivos materiais, ou seja, são diâmetros padronizados e que são encontrados nas indústrias.

O funcionamento do software está conforme planejado, os valores obtidos através do software se comparam aos valores reais, que pode ser calculado manualmente, com variações aceitáveis. Torna-se assim uma automatização do processo de cálculo e com um fácil manuseio do programa.

## 4. REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. Termodinâmica. 7ª. ed. New York: The McGraw-Hill Companies, 2014.

KAKAÇ, S.; LIU, H. Heat exchangers, selection, rating and thermal design. 2ª. ed. Boca Raton: CRC Press, 2002. 501 p.

KREITH, F.; BOHN, M. S. Princípios de transferência de calor. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

LEE, H. S. Thermal design. Hoboken: Wiley, 2010. 623 p.

MALISKA, C. R. Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2017.

## 5. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE DISPOSITIVOS DE PONTA DE ASA EM UM PERFIL AERODINÂMICO NACA 23015

**Diógenes Dal Magro**
**Roberta Fátima Neumeister**
**Renata Rech de Souza**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim
diogenesdal@gmail.com; robertaneumeister@uricer.edu.br; renatarechdesouza@gmail.com

***Resumo:*** *O presente trabalho apresenta uma análise numérico-experimental acerca da influência do uso de dispositivos de ponta de asa em um perfil aerodinâmico NACA 23015. As análises foram realizadas utilizando dois ângulos de ataque. O primeiro deles foi 6°, por ser comumente o ângulo de instalação da asa em uma aeronave e o segundo foi de 15°, valor este próximo ao ângulo de estol. As análises experimentais foram realizadas em um canal aerodinâmico de circuito aberto. As análises numéricas foram realizadas a partir das equações de Reynolds-Averaged Navier-Stokes adotando o modelo de turbulência k-ω SST. O escoamento utilizado para as análises apresentou um número de Reynolds igual a* $1{,}87x10^5$*. Os resultados obtidos pelos métodos numéricos e experimentais apresentaram valores similares, sendo observadas apenas divergências na região de pressão mínima. Com a adição do dispositivo de ponta de asa foi possível observar um acréscimo de aproximadamente 5,5% e 3,0% na eficiência aerodinâmica com ângulos de ataque de 6 e 15 graus respectivamente, tanto nas análises numéricas quanto nos ensaios experimentais. Sendo assim é possível concluir que o dispositivo desenvolvido neste trabalho pode ser utilizado como uma alternativa para a otimização do desempenho aerodinâmico de aeronaves.*

***Palavras chave:*** *Dispositivos de ponta de asa, NACA 23015, Perfil Aerodinâmico, Asa Finita, CFD, Experimental.*

## 1. INTRODUÇÃO

A aviação agrícola é parte fundamental da aviação civil no Brasil. Sua frota, atualmente, tem crescimento médio de 5% ao ano. As operações agrícolas são usadas para aplicações de fertilizantes e pesticidas em lavouras e requerem voos em baixa altitude, manobras em curto espaço e muita precisão. Estima-se que cerca de 72 milhões de hectares são pulverizados pela aviação agrícola todos os anos no país (ANAC, 2017).

Segundo Bravo-Mosquera *et al.* (2018) a aviação agrícola apresenta características muito peculiares devido às condições de operação a que as aeronaves são submetidas, caracterizada pela baixa altitude e necessidade de manobras rápidas. Entre 2006 e 2015, foram registrados 1294 acidentes aéreos no Brasil, com uma média de 130 acidentes por ano, onde cerca de 19% dos incidentes ocorridos envolveram aeronaves agrícolas (CENIPA, 2016).

Frente à essas condições, aeronaves utilizadas para este tipo de operação demandam uma elevada eficiência aerodinâmica a fim de se evitar possíveis acidentes, garantindo uma maior segurança para o operador. De acordo com Narayan e John (2016), uma forma efetiva para aprimorar a eficiência aerodinâmica de uma aeronave é a partir da adição de dispositivos de ponta de asa, que acabam por reduzir o arrasto induzido da aeronave.

Segundo Guerrero *et al.* (2011), o arrasto induzido representa 40% do arrasto total de uma aeronave em velocidade de cruzeiro. Frente a isso a redução desta parcela de arrasto torna-se um ponto vital para a obtenção de uma elevada eficiência aerodinâmica.

Sabendo das necessidades de uma aeronave agrícola, a utilização de dispositivos de ponta de asa se torna uma alternativa muito eficaz, capaz de otimizar a sua performance, garantindo uma maior confiabilidade durante a sua utilização.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo White (2002), qualquer corpo quando imerso em um escoamento estará sujeito a uma força aerodinâmica $F_R$. Quando o perfil possui simetria em relação ao eixo de sustentação, como por exemplo aviões, navios e carros, é possível observar duas forças resultantes, sendo elas a força de arrasto $F_D$, paralela à direção do movimento, e a de

sustentação $F_L$, perpendicular à direção do movimento. A decomposição das forças atuantes em um perfil aerodinâmico pode ser observada na Fig. 1.

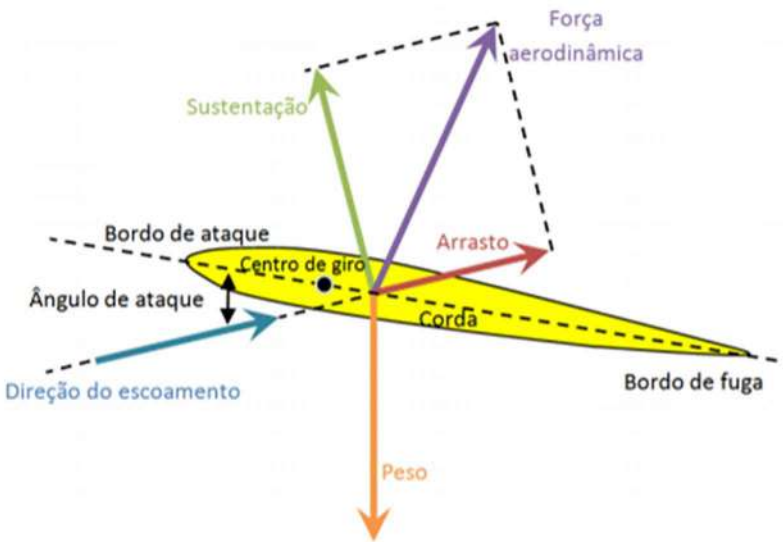



Figura 1. Forças atuantes em um perfil aerodinâmico.
Fonte: Oliveira (2014)

De acordo com Fox *et al.* (2014), qualquer corpo que se move em meio ao ar sofre resistência ao deslocamento em função do escoamento da massa fluida. Considerando que o corpo está sujeito a forças e momentos em virtude da ação das correntes de ar, há a formação de uma distribuição de pressão específica para a geometria do corpo, de modo que a resistência do ar é proporcional a sua área, variando com a área frontal.

Devido ao ângulo de ataque e a diferença geométrica entre os dorsos, o extradorso obtém maiores velocidades comparado ao intradorso. Com o aumento da velocidade no extradorso, tem-se um decréscimo na pressão superficial e de maneira oposta no intradorso, gerando um diferencial de pressão (WHITE, 2002).

Para a maioria dos objetos em movimento em um fluido, a força mais significativa do fluido é o arrasto. Entretanto, existem alguns objetos, tais como aerofólios, para os quais a sustentação é significativa. A sustentação é definida como a componente da força do fluido perpendicular ao movimento do fluido (FOX *et al.,* 2014).

O coeficiente de sustentação $C_L$ é função do modelo do perfil, do número de Reynolds e do ângulo de ataque. Existe para cada perfil um ângulo de ataque que equaliza as resultantes de forças e pressões fornecendo ao perfil uma sustentação nula. Do ponto de vista da sustentação, pode-se afirmar que quanto maior este coeficiente, melhor para a sustentação de uma aeronave (JÚNIOR, 2016).

Fox *et al.* (2014) afirmam que o arrasto é a componente da força sobre um corpo que atua paralelamente à direção do movimento relativo. O arrasto total de uma aeronave é consequência de algumas parcelas provenientes do arrasto de pressão, que ocorre devido ao desbalanceamento de pressão existente sobre a superfície da aeronave, e o arrasto de atrito proveniente das tensões de cisalhamento (RODRIGUES, 2014).

O coeficiente de arrasto $C_D$ representa a medida da eficiência do perfil em gerar força de arrasto. Ao contrário do coeficiente de sustentação, os perfis considerados eficientes aerodinamicamente são aqueles que possuem menores valores de coeficiente de arrasto (JÚNIOR, 2016).

O arrasto induzido é a parcela dependente da geração de sustentação e é caracterizado por um arrasto de pressão causado pelo escoamento induzido, *downwash*, que é associado aos vórtices criados nas pontas de uma asa de envergadura finita. O arrasto parasita representa o arrasto total do avião menos o arrasto induzido, ou seja, a parcela de arrasto que não está associada diretamente com a geração de sustentação. Este é o termo que representa a parcela do arrasto total associada com o atrito viscoso e o arrasto de pressão provenientes da separação do escoamento ao redor de toda a superfície do avião (RODRIGUES, 2014).

Guerrero *et al.* (2011) relatam que devido à diferença de pressão entre as superfícies superior e inferior de uma aeronave e a condição de asa finita, o ar localizado na região de alta pressão tende a se deslocar para a região de baixa pressão. Essa movimentação ocasiona a formação de vórtices na ponta da asa, que são responsáveis pela ocorrência do arrasto induzido, conforme pode ser observado na Fig. 2.

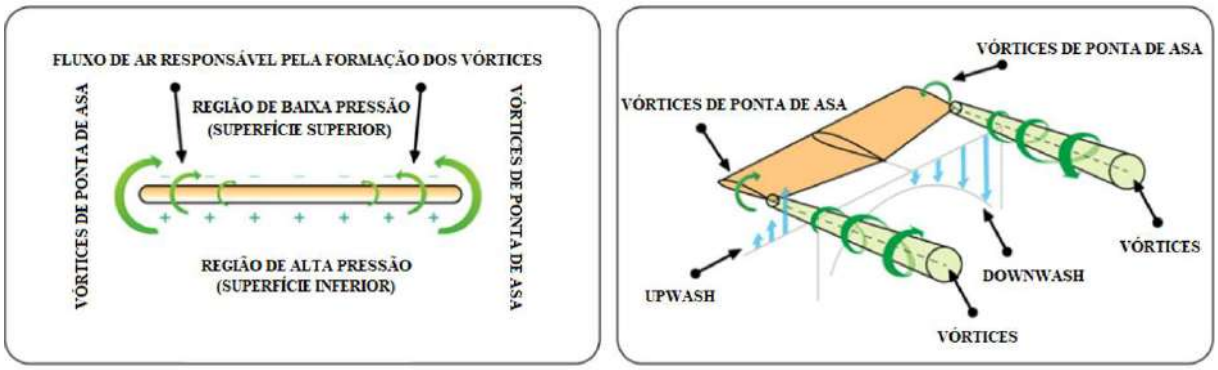



Figura 2. Formação dos vórtices responsáveis pelo arrasto induzido.
Fonte: Adaptado de Gerrero *et al.* (2011)

Rodrigues (2014) afirma que, para uma asa de dimensões finitas, o coeficiente de arrasto total em regime de escoamento subsônico é obtido através da soma do coeficiente de arrasto do perfil com o coeficiente de arrasto induzido gerado pelos vórtices de ponta de asa que, segundo Elham e van Tooren (2014), representa aproximadamente 40% do arrasto total de uma aeronave em velocidades de cruzeiro, e chega a atingir até 90% durante a decolagem.

De acordo com Narayan e John (2016), uma das maneiras mais eficientes de se reduzir os vórtices gerados na ponta das asas é com a adição de winglets, que são capazes de evitar o fluxo do ar nessa região devido à diferença de pressão. Isso reduz a intensidade dos vórtices da ponta da asa e o correspondente arrasto induzido pela elevação. No entanto, a melhoria da eficiência aerodinâmica com a integração de tais dispositivos de ponta de asa depende principalmente da configuração de tais dispositivos e do tamanho total da asa.

## 3. METODOLOGIA

A asa utilizada para as análises possui corda igual a 190,0 mm e 210,0 mm de envergadura. A geometria com as dimensões apresentadas anteriormente gera uma razão de bloqueio em torno de 10%, valor este que se encontra dentro do esperado para um perfil aerodinâmico. Ela possui 16 orifícios laterais, distribuídos a fim de possibilitar a tomada de pressão em diferentes regiões. O modelo também possui ofícios de 2 mm distribuídos ao longo de toda a sua superfície, tanto inferior quanto superior, permitindo que seja realizada a tomada de pressão em pontos específicos da asa. A primeira linha de orifícios está a 35,0 mm da borda do modelo, sendo que cada uma delas possui 17 furos, considerando as superfícies superior e inferior. O espaçamento entre as demais linhas é de 17,5 mm, sendo que a linha de pressão *A* é a que se encontra mais próxima à extremidade livre da asa, já a linha *I* está localizada perto da extremidade fixada à parede. A distribuição dos pontos de tomada de pressão na superfície pode ser observada na Fig. 3.

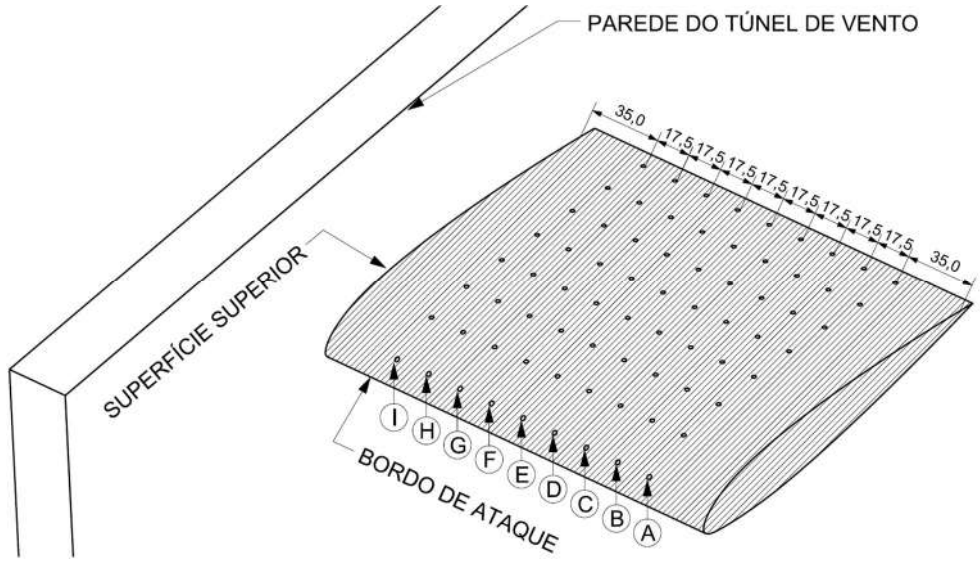



Figura 3. Distribuição dos pontos para tomada de pressão na superfície.

O dispositivo de ponta de asa desenvolvido para a realização das análises é do tipo *Blended Winglet*, que consiste num prolongamento em curva do perfil aerodinâmico da asa em questão. De acordo com a Boeing (2009), os *Blended Winglets* estão presentes em diversos modelos da companhia e são uma maneira comprovada de reduzir o arrasto, economizar combustível, amenizar as emissões e minimizar o ruído das aeronaves. O dispositivo foi produzido utilizando uma impressora 3D e posteriormente foi acoplado à asa previamente desenvolvida. A geometria da winglet desenvolvida pode ser observada na Fig. 4.

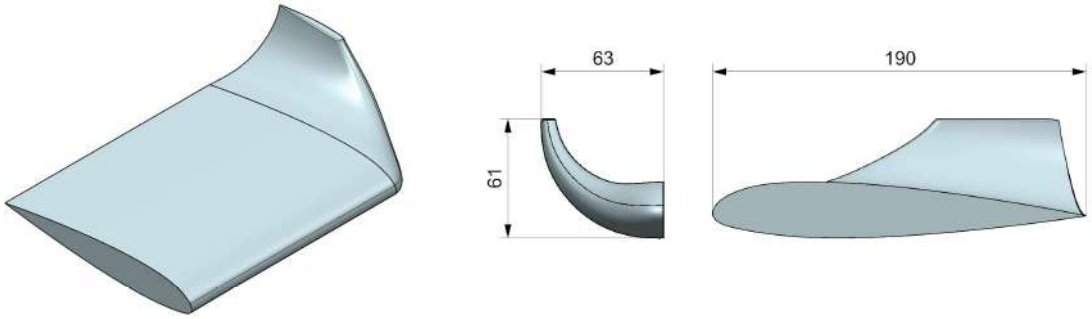



Figura 4. Modelo de *winglet* utilizado (dimensões em mm).

Durante a realização das análises experimentais a pressão atmosférica observada foi de 705 mmHg, com uma temperatura igual a 22°C. A partir destas condições foi possível determinar as propriedades do ar atmosférico, permitindo a medição da velocidade do escoamento através do tubo de Pitot que, para o presente trabalho, deve ser igual a 16 m/s. Com a velocidade do escoamento utilizada para as análises o número de Reynolds encontrado foi igual a $1{,}87 \times 10^5$, indicando a ocorrência de um escoamento turbulento.

Inicialmente, para a realização das análises numéricas, as condições de contorno atribuídas na simulação definem as características e condições do escoamento analisado. Nesta etapa, todos os parâmetros de análise devem ser configurados e inseridos no software. O fluido escolhido para a análise do escoamento foi o ar a 25°C à pressão atmosférica considerando-o em regime permanente.

Na seção de entrada do domínio foi atribuída uma velocidade para o fluido, com um valor igual a 16 m/s, normal à superfície. Essa velocidade foi escolhida com base na velocidade máxima atingida pelo canal aerodinâmico utilizado nas análises experimentais.

Para a superfície da asa e para as paredes do domínio foi atribuída uma condição de parede sem deslizamento, representando as condições encontradas no canal aerodinâmico. A região de saída foi considerada como uma abertura à pressão atmosférica, tal qual as condições encontradas nas análises experimentais.

Para o problema em questão, o domínio computacional foi gerado a partir das dimensões do canal aerodinâmico onde a asa foi posicionada nas mesmas condições às encontradas no aparato experimental. O domínio possui uma seção transversal de 282mm x 352mm e um comprimento total igual a 1000mm. Sendo assim, nessas condições, os resultados obtidos numericamente podem ser comparados diretamente aos resultados obtidos nos experimentos.

A malha utilizada neste trabalho foi gerada a partir do *software* ICEM CFD, contendo aproximadamente 4.000.000 de volumes. Para a confecção da malha na região próxima à superfície da asa foi atribuída a condição de criação de prismas, fazendo com que haja a formação de blocos que contornam o perfil aerodinâmico, garantindo uma análise precisa das forças superficiais geradas pelo escoamento. Para o caso avaliado foi arbitrado um $y^+ < 2$, pela necessidade de uma análise precisa próxima à superfície da asa. Assim, para a construção dos prismas foi atribuída uma espessura inicial de $2{,}5 \times 10^{-5}$ m, com um aumento progressivo entre os blocos em cada uma das 20 camadas, como mostra a Fig. 5.

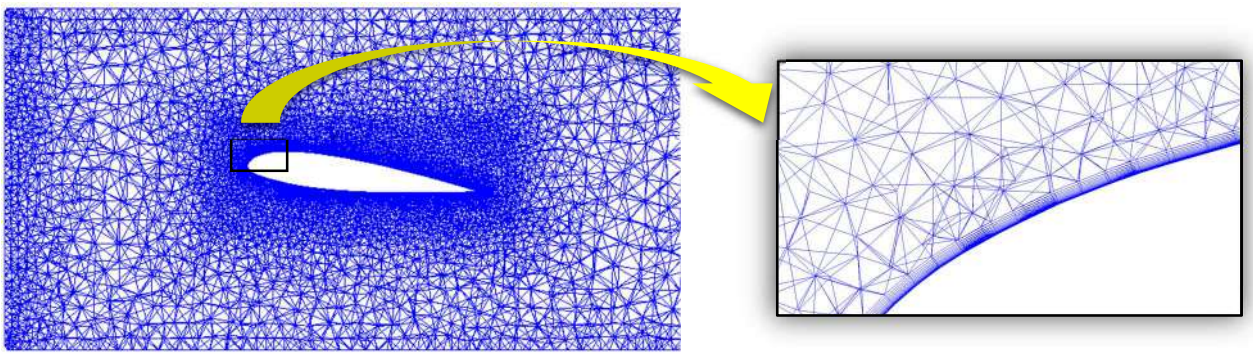


Figura 5. Malha utilizada para as análises numéricas.

As análises numéricas foram realizadas a partir das equações de *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* adotando o modelo de turbulência *k-ω* SST pois, segundo Menter *et al*., (2003), este modelo apresenta uma combinação entre a formulação robusta e precisa do modelo *k-ω* na região de camada limite com a independência de escoamento livre do modelo *k-ε*, fora da camada limite. O software utilizado para a realização das análises numéricas foi o Ansys *Fluent*.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Fox *et al.* (2014) não se deve confiar em uma solução de CFD sem a certeza de que ela é realmente uma solução de malha convergida para um nível de tolerância aceitável, o que dependerá do problema. Inicialmente foi adotado um critério de convergência para todos os termos envolvidos na solução de 1x10-4. Como os resultados obtidos apresentaram semelhança com dados obtidos através das análises experimentais realizadas, considerou-se que o critério de convergência adotado é adequado para o problema em questão.

Inicialmente é apresentada a distribuição de pressão para as superfícies superior e inferior da asa. A fim de facilitar o entendimento das informações, os resultados obtidos experimentalmente foram plotados em uma escala de cor representando a superfície da asa da mesma forma que a apresentação feita pelo *software* de simulação numérica. Sendo assim a Fig. 6 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios numéricos e experimentais com e sem a utilização do winglet para um ângulo de ataque de 6 graus. Nos resultados obtidos numericamente com o uso do dispositivo de ponta de asa a distribuição de pressão na região do winglet não é apresentada, pelo fato de não haver pontos de medição no procedimento experimental, facilitando assim a comparação dos resultados encontrados nas regiões avaliadas em ambas as metodologias.

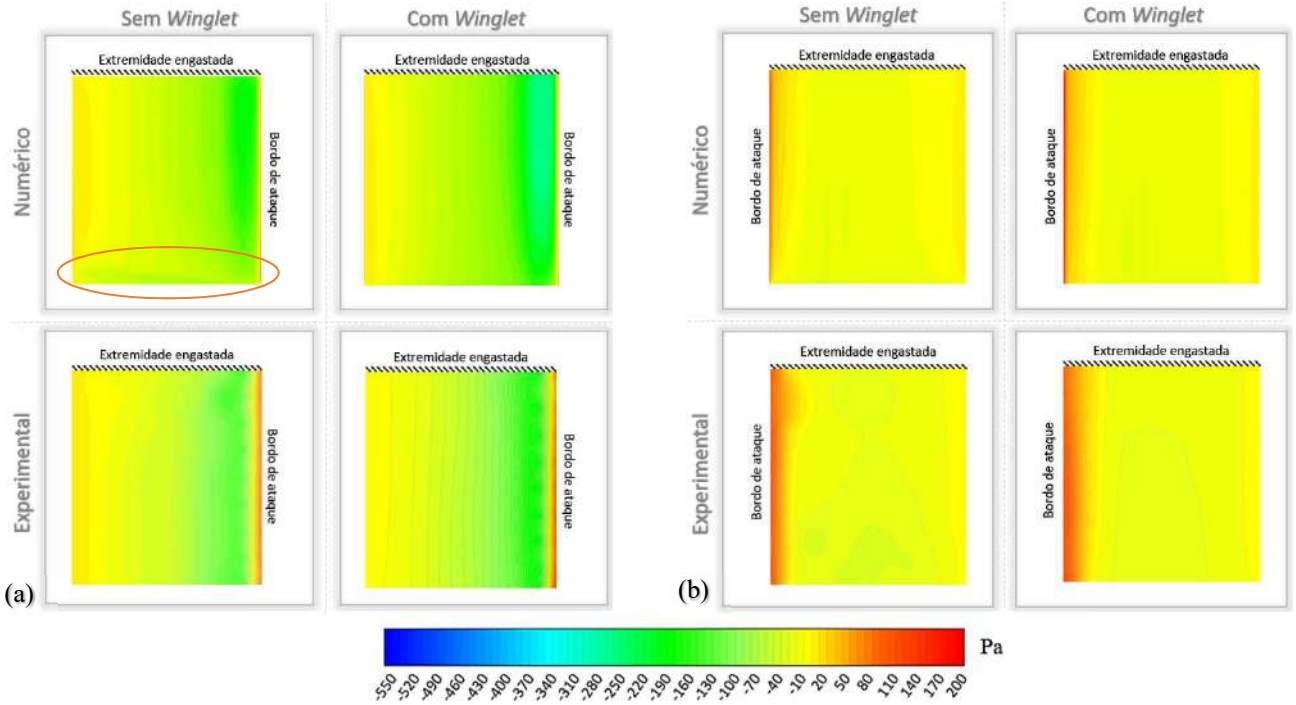



Figura 6. Distribuição de pressão na superfície superior (a) e inferior (b) para um ângulo de 6°.

A adição do dispositivo gerou uma alteração significativa na distribuição de pressão no extradorso da asa. Houve uma redução na pressão mínima encontrada, passando de aproximadamente -130 Pa para cerca de -270 Pa. Também é possível observar que, próximo a extremidade livre sem o dispositivo de ponta de asa no ensaio numérico há uma região com pressão mais reduzida, ocasionada pelos vórtices formados. Com a adição do dispositivo, essa porção da asa com pressão mais baixa acaba desaparecendo.

Já para o intradorso, tanto para a análise numérica quanto experimental, não houve uma alteração significativa na ocasionada pela adição do dispositivo.

A Figura 7 apresenta uma vista lateral do escoamento, em um plano gerado sobre a linha de pressão *B*, onde é possível identificar de forma mais clara a redução da pressão mínima na superfície superior, ocasionada pela adição do winglet.

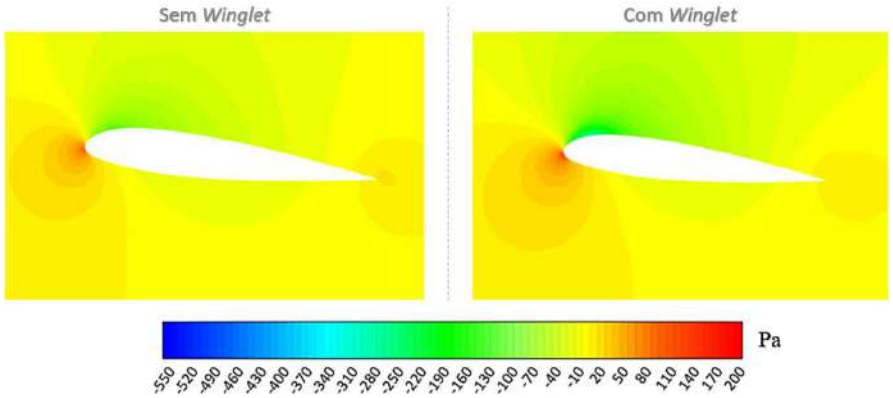



Figura 7. Distribuição de pressão ao longo do perfil para um ângulo de 6°.

Na Figura 7 é possível notar uma considerável redução de pressão na região do extradorso da asa, confirmando o que havia sido constatado através da distribuição de pressão na superfície.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre os coeficientes de arrasto e sustentação com e sem a utilização do dispositivo de ponta de asa obtidos nas análises numéricas e experimentais.

Tabela 1. Comparativo dos coeficientes de arrasto e sustentação para ângulo de 6°.

| **SEM WINGLET** | | **COM WINGLET** | |
|---|---|---|---|
| **Numérico** | **Experimental** | **Numérico** | **Experimental** |
| $C_L$= 0,410 | $C_L$= 0,373 ± 0,008 | $C_L$= 0,471 | $C_L$= 0,425 ± 0,001 |
| $C_D$= 0,057 | $C_D$= 0,052 ± 0,003 | $C_D$= 0,062 | $C_D$= 0,056 ± 0,003 |
| $C_L/C_D$ = 7,19 | $C_L/C_D$ = 7,17 | $C_L/C_D$ = 7,59 | $C_L/C_D$ = 7,58 |

Como pode ser observado, após a adição do dispositivo de ponta de asa houve um acréscimo de aproximadamente 14% no coeficiente de sustentação tanto para as análises numéricas quanto experimentais, sendo este um efeito benéfico para o aumento da eficiência aerodinâmica da aeronave. Em contraponto houve também um acréscimo no coeficiente de arrasto próximo a 8% em ambas as análises, ocasionado pelo acréscimo de área em decorrência da adição de uma estrutura à asa.

A fim de determinar o impacto na eficiência aerodinâmica, levando em consideração estas duas alterações observadas, foi obtida a razão entre o coeficiente de arrasto e o coeficiente de sustentação. Tanto as análises numéricas quanto as experimentais apresentaram um acréscimo no valor, indicando um aumento na eficiência aerodinâmica do objeto de estudo. Para os resultados obtidos nas simulações numéricas houve uma variação positiva de aproximadamente 5,5% e para os ensaios experimentais esse acréscimo foi de aproximadamente 5,7%.

Frente a isso é possível afirmar que embora haja um acréscimo no coeficiente de arrasto, a adição do dispositivo de ponta de asa proposto neste trabalho acaba por aumentar a eficiência aerodinâmica em aproximadamente 5,5%, sendo está uma possível alternativa para a otimização do desempenho aerodinâmico de aeronaves.

Da mesma forma que o realizado no comparativo anterior, os dados coletados experimentalmente foram plotados em uma escala de cor, possibilitando uma comparação direta entre os resultados obtidos através dos experimentos e das análises numéricas. Da mesma forma que para as análises com um ângulo de ataque igual a 6 graus, a distribuição de pressão na região do winglet não é apresentada, com o intuito de facilitar a comparação entre os resultados obtidos.

Os resultados obtidos através dos ensaios numéricos e experimentais com e sem a utilização do dispositivo para a superfície inferior da asa, com um ângulo de ataque de 15 graus, podem ser observados na Fig. 8.

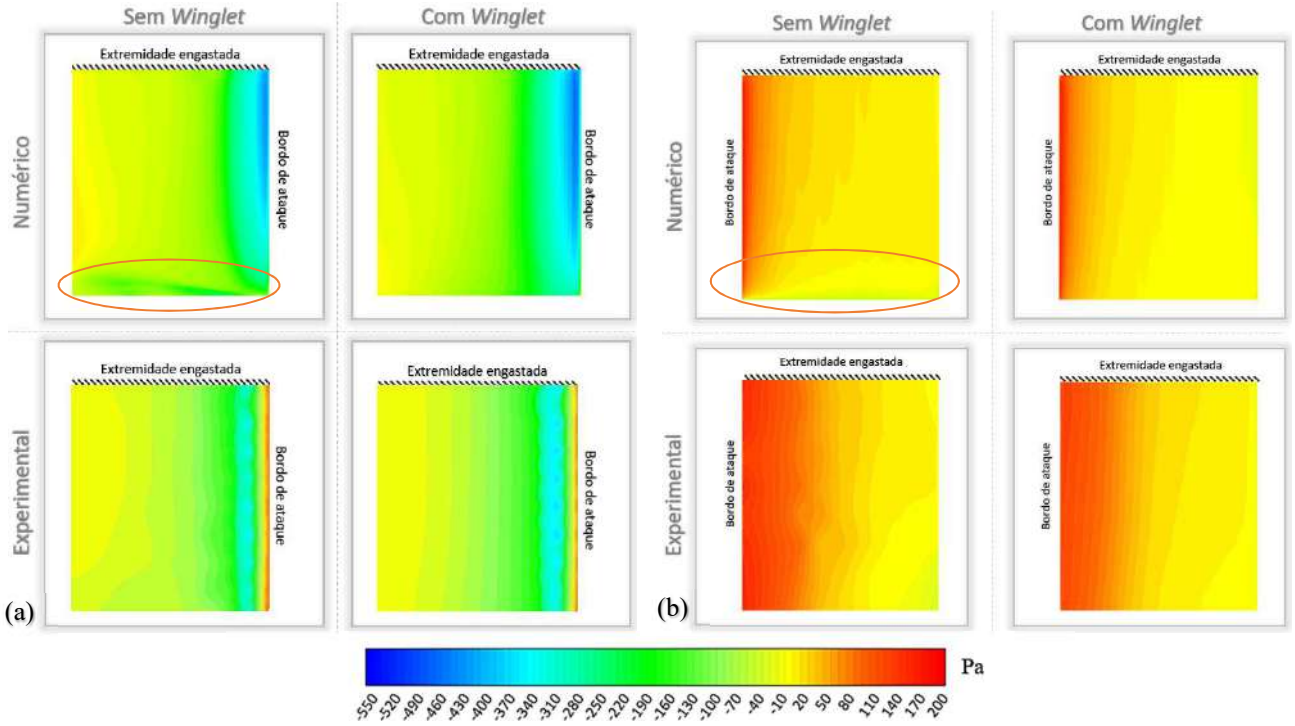



Figura 8. Distribuição de pressão na superfície superior (a) e inferior (b) para um ângulo de 15°.

Na superfície superior da asa sem adição do dispositivo é possível observar uma queda de pressão próximo à extremidade livre, ocasionada pela formação dos vórtices na ponta da asa. Após a adição do winglet essa região acaba sendo extinta. Também é possível notar que com o uso do dispositivo há um leve aumento na região de baixa pressão no bordo do ataque, porém esse acréscimo é muito sutil comparado ao observado nos resultados para um ângulo de ataque igual a 6 graus.

Para a superfície inferior da asa, com ângulo de ataque de 15 graus, é possível observar nos resultados numéricos que sem a presença do dispositivo há uma região de baixa pressão próxima à extremidade livre, ocasionada pela formação dos vórtices de ponta de asa, que desaparece com a adição do dispositivo utilizado neste trabalho.

Na sequência é apresentada a distribuição de pressão em uma vista lateral da asa, em um plano sobre a linha de pressão *B*, que pode ser observado na Fig. 9.

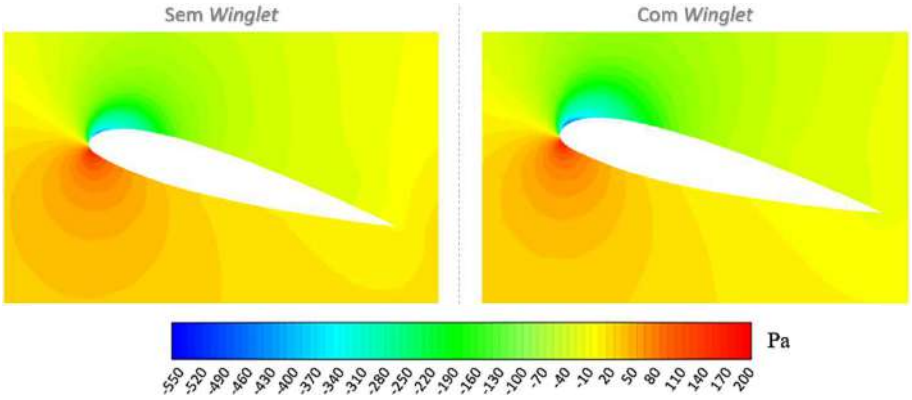



Figura 9. Distribuição de pressão ao longo do perfil para um ângulo de 15°.

Na Figura 9 é possível observar uma sutil redução de pressão na região próxima ao bordo de ataque da superfície superior da asa, enquanto a superfície inferior não apresenta variação significativa.

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre os coeficientes de arrasto e sustentação com e sem a utilização do winglet obtidos nas análises numéricas e experimentais para um ângulo de ataque igual a 15 graus.

Tabela 2. Comparativo dos coeficientes de arrasto e sustentação para ângulo de 15°.

| **SEM WINGLET** | | **COM WINGLET** | |
|---|---|---|---|
| **Numérico** | **Experimental** | **Numérico** | **Experimental** |
| $C_L$= 0,875 | $C_L$= 0,820 ± 0,001 | $C_L$= 0,955 | $C_L$= 0,898 ± 0,001 |
| $C_D$= 0,138 | $C_D$= 0,132 ± 0,005 | $C_D$= 0,146 | $C_D$= 0,140 ± 0,003 |
| $C_L/C_D$ = 6,34 | $C_L/C_D$ = 6,21 | $C_L/C_D$ = 6,54 | $C_L/C_D$ = 6,41 |

A partir da Tab. 2 é possível observar que houve um acréscimo no coeficiente de sustentação após a adição do dispositivo de ponta de asa. Para as análises numéricas esse aumento foi de aproximadamente 9%, enquanto para os ensaios experimentais o acréscimo foi de aproximadamente 7%.

Assim como para as análises realizadas utilizando um ângulo de ataque igual a 6 graus, também foi observado um aumento de aproximadamente 6% no coeficiente de arrasto, tanto nos ensaios numéricos quanto experimentais devido a nova estrutura adicionada a asa.

Com intuito de verificar qual a influência na eficiência aerodinâmica ocasionada pela adição do dispositivo de ponta de asa, foi avaliada a razão entre os coeficientes de arrasto e sustentação. Como pode ser observado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, houve um acréscimo de aproximadamente 3% na razão entre estes dois coeficientes, tanto para as análises numéricas quanto as experimentais.

Com isso é possível concluir que, para um ângulo de ataque igual a 15 graus, também há um acréscimo na eficiência aerodinâmica após a adição do dispositivo de ponta de asa proposto neste trabalho, mesmo sendo observado um aumento no coeficiente de arrasto. Sendo assim pode-se afirmar que o winglet desenvolvido é uma solução capaz de otimizar o desempenho aerodinâmico de uma aeronave.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da realização de ensaios numéricos e experimentais acerca de uma mesma condição foi possível a obtenção de resultados consistentes e confiáveis, permitindo a comparação e validação dos resultados. Apesar de terem sido encontradas divergências em alguns valores, é possível considerar que os resultados obtidos nesse trabalho apresentaram uma elevada semelhança para os dois ângulos de ataque avaliados.

Foi observado que, para os dois ângulos de ataque, quanto mais próxima a linha de pressão está da parede, menor a pressão mínima encontrada no extradorso da asa. Entretanto, essa variação é maior entre as linhas *A*, *B*, *C* e *D*, sendo que as demais apresentam valores mais próximos, mas ainda com uma pequena diferença. Em contraponto, a pressão máxima não apresenta nenhuma variação significativa, permanecendo praticamente estável em toda a extensão da asa. Outro ponto notado foi que, a região onde há pressão positiva na asa é consideravelmente maior para a análise com um ângulo de ataque igual a 15 graus do que para a condição de 6 graus.

Com a adição do dispositivo de ponta de asa é possível observar uma variação na distribuição de pressão na superfície do aerofólio. Na região próxima à extremidade livre da asa há uma leve queda de pressão, ocasionada pela formação dos vórtices, que acaba desaparecendo com a utilização do winglet. Outra alteração observada foi no extradorso da asa, onde com a adição do dispositivo houve uma redução na pressão mínima encontrada, ocasionada pela redução da intensidade dos vórtices na extremidade da asa.

Outro ponto influenciado diretamente pela adição do winglet foi o desempenho aerodinâmico. Com a utilização do dispositivo houve um acréscimo de aproximadamente 5,5% na eficiência aerodinâmica para um ângulo de ataque igual a 6 graus e, para 15 graus esse aumento foi de 3%, observado tanto nos ensaios numéricos quanto nos experimentais. Com isso é possível concluir que o dispositivo de ponta de asa desenvolvido neste trabalho é uma alternativa plausível para a otimização do desempenho aerodinâmico de aeronaves.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

ANAC. Notícias. Conheça um pouco sobre a aviação agrícola. 2017. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/noticias/2016/conheca-um-pouco-sobre-a-aviacao-agricola> Acesso em: 29 set. 2018.

BOEING. Comercial. AERO Magazine. 2009. Home page <https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_03_09/article_03_1.html>

BRAVO-MOSQUERA, Pedro D. *et al.* Conceptual design and CFD analysis of a new prototype of agricultural aircraft. *Aerospace Science and Technology*, v. 80, p. 156, 176 176, 2018.

CENIPA. Ocorrências Aeronáuticas: Panorama Estatístico da Aviação Brasileira. Brasília, 2016. <http://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/estatisticas/panorama>.

FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J.; MCDONALD, Alan T. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 8ed. Rio de Janeiro, Brasil. LTC, 2014.

GUERRERO, Joel E.; MAESTRO, Dario; BOTTARO, Alessandro. Biomimetic spiroid winglets for lift and drag control. *Comptes Rendus Mecanique*, v. 340, n. 1, p. 67, 2012.

JÚNIOR, Márcio M. A. *et al.* Estudo Numérico de Perfil Aerodinâmico. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia-RIPE*, v. 2, n. 20, p. 09-18, 2016.

MENTER, Florian R.; KUNTZ, Martin; LANGTRY, Robin. *Ten years of industrial experience with the SST turbulence model. Turbulence, heat and mass transfer*, v. 4, n. 1, p. 625-632, 2003.

NARAYAN, Gautham; JOHN, Bibin. Effect of winglets induced tip vortex structure on the performance of subsonic wings. *Aerospace Science and Technology*, v. 58, p. 328-340, 2016.

OLIVEIRA, Thiago. F. *Estudo experimental do estol dinâmico em um aerofólio NACA 0018*. 2011. Tese de Mestrado (Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

RODRIGUES, Luiz E. M. J. *Fundamentos da Engenharia Aeronáutica*. Cengage Learning, 2014.

WHITE, Frank. M. *Mecânica dos Fluidos*, 4ª edição, 2002.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DETERMINAÇÃO DE UMA CAMADA-LIMITE PERTURBADA POR UMA RUGA UTILIZANDO SIMULAÇÃO NUMÉRICA

**Fabrício Franzen**
**Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
franzenfabricio@outlook.com; marco@uricer.edu.br

***Resumo:*** *Neste artigo será apresentado um estudado das regiões e suas respectivas velocidades para uma camada limite turbulenta perturbada por uma ruga, para isso foram realizadas algumas simulações numéricas da camada-limite sobre uma geometria ondulada. A modelagem feita para esse caso é bidimensional (2D), variando a razão de aspecto de perturbações, com o intuito de analisar qual a influência de tal perturbação em uma corrente de escoamento uniforme. As simulações foram feitas no regime transiente, onde suas propriedades variam ao longo do tempo. O comportamento do escoamento do fluido foi observado em vários pontos da geometria. Com isso, foi possível com o auxílio da criação de vetores de velocidades, visualizar as formações de vórtices formados próximos a geometria ondulada. foi plotado o gráfico da velocidade do escoamento na direção x em função da altura y, onde pode-se observar a forma como a geometria interfere o escoamento, gerando uma região de aceleração devido ao estreitamento de passagem de fluido. Também pode ser visualizada a região onde ocorre a condição de não-deslizamento, ou seja, velocidade nula na região de contato com a parede. Esse efeito tem sua intensidade aumentada quanto maior for à perturbação no escoamento.*

***Palavras chave:*** *Simulação numérica, Camada-limite, Mecânica dos Fluidos)*

## 1. INTRODUÇÃO

Camadas limite turbulentas sobre placas planas são frequentemente encontradas em aplicações ambientais e industriais e, por esta razão, elas têm sido estudadas intensivamente. Porém quando há a presença de uma ruga interferindo o escoamento do fluido, o problema de entendimento do seu comportamento fica um pouco mais complexo. Na natureza, alguns exemplos são o ar escoando sobre rugas e dunas no deserto, e escoamentos fluviais na presença de dunas. Na indústria, exemplos estão relacionados aos escoamentos sobre dunas em dutos fechados como escoamentos de petróleo nas linhas de produção, escoamento em linhas de dragagem, trocadores de calor e escoamentos em sistemas de esgoto.

Nesta etapa do projeto de pesquisa foi estudado as regiões e suas respectivas velocidades para uma camada limite turbulenta perturbada por uma ruga afim de se obter o perfil de velocidades que delimitam a camada limite, para isso serão realizadas algumas simulações numéricas da camada-limite sobre uma geometria ondulada.

Serão apresentados a seguir resultados obtidos por meio da simulação numérica referente à influência da variação da geometria de rugas onduladas presentes em escoamentos de fluidos. A simulação numérica foi realizada numa geometria 2D, com a identificação dos campos de velocidade para os cinco casos estudados. As simulações foram feitas em regime transiente, onde suas propriedades variam ao longo do tempo.

## 2. CAMADA-LIMITE

Todo fluido real é viscoso. As observações experimentais mostram que quando um fluido escoa paralelamente a uma superfície, as partículas do fluido em contato com a superfície aderem a esta devido a condição de não escorregamento. A velocidade relativa fluido-placa, na superfície (y=0), é zero, u=0. Na Fig. 1, apresenta-se um esquema representativo do perfil de velocidade para um escoamento em regime laminar paralelo a uma placa em repouso. As partículas do fluido aderidas à superfície, em y=0, exercem sobre as demais um efeito de frenagem que diminui, à medida que *y* aumenta até se atingir a região II, onde a velocidade do escoamento é quase uniforme. A região em que a velocidade varia com *y* foi originalmente introduzida por Ludwig Prandtl em 1904 é chamada de camada limite (Passos, 2010).

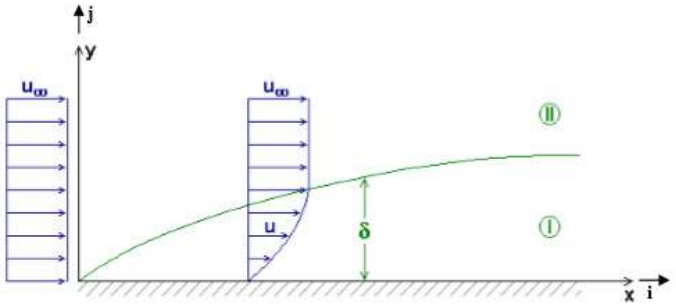



Figura 1 - Desenho esquemático do perfil de velocidade sobre uma placa plana, na camada limite laminar, região I, e no seu exterior, região II.

Jackson e Hunt (1975) propuseram a divisão da camada-limite em duas regiões distintas, conforme ilustrado na Fig. 2.

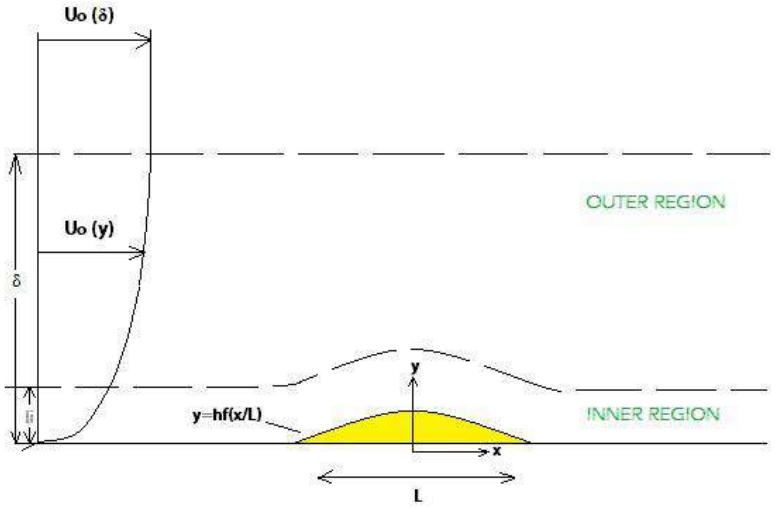



Figura 2 – Divisão da camada limite.

A divisão proposta ocorre da seguinte maneira. A região interna (*Inner Region*) encontra-se em equilíbrio local. A espessura não varia significativamente ao longo da ruga e as perturbações são causadas pelo campo de pressão da região externa. A região externa (*Outer Region*) por sua vez, tem escoamento em condição de não equilíbrio e não é afetado pelas tensões de cisalhamento, podendo apresentar solução potencial.

A maior parte da perturbação ocorre na região interna, sendo que a evolução longitudinal da perturbação tem um pico a montante da crista do leito.

Foi proposto por Hunt, *et al.*, (1988) uma subdivisão das regiões interna e externa. A região interna seria subdividida em:

- Camada superficial interna: O escoamento é determinado pela pressão e efeitos de cisalhamento, sendo essa a região de contato com a superfície do leito.
- Camada de tensão de cisalhamento: Próxima da região externa, com escoamento determinado pela pressão, cisalhamento e efeitos inerciais (região onde ocorre a velocidade máxima de perturbação).

Por sua vez, a região externa fica subdividida da seguinte maneira:

- Camada superior: Escoamento aproximadamente potencial, sendo esse dominado pelos efeitos de pressão.

Camada do meio: Cisalhamento dominante, escoamento não-viscoso e rotacional.

## 3. PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Para a geração dos resultados por meio da simulação numérica, foi utilizada a plataforma *Workbench* do pacote comercial *ANSYS Fluent* versão 18.1.

Nos cinco casos estudados, as dimensões da geometria da ruga ondulada varia conforme desejado. As dimensões da geometria simulada numericamente pode ser vista na Fig. 3.

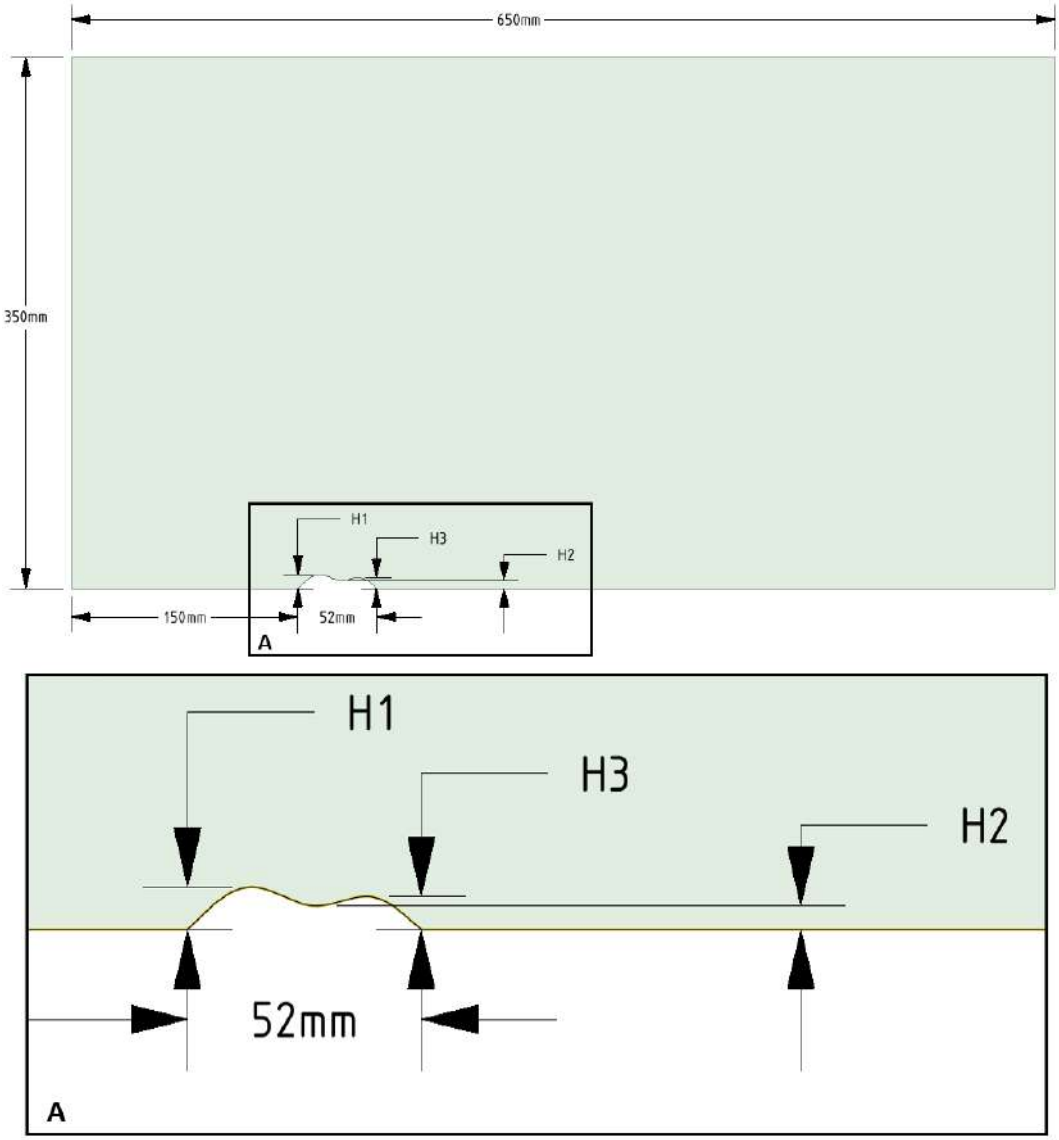



Figura 3 – Geometria simulada numericamente.

Os valores utilizados para a geometria da ruga estão sendo ilustradas na Tab. 1 a seguir.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados nas simulações computacionais em relação à forma da ruga.

| Casos | H1 [mm] | H2 [mm] | H3 [mm] |
|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 2 | 3 |
| 2 | 6 | 3 | 5 |
| 3 | 9 | 5 | 7 |
| 4 | 13 | 8 | 11 |
| 5 | 15 | 10 | 13 |

Após essa etapa, foi realizada a geração da malha computacional. Esta etapa é de suma importância para a qualidade dos resultados que serão obtidos após a simulação computacional, onde quanto maior o refinamento da malha em regiões de elevados gradientes de propriedades, mais próximo com a física do fenômeno estudado os resultados obtidos numericamente serão.

Como o estudo deste trabalho se refere a camada limite, e ela é muito delgada e de difícil obtenção, foi feita uma malha com maior densidade na parte próxima da superfície, para que não haja nenhum risco de ser obtido algum resultado mascarado, que não seja realmente representativo à física do problema.

Nota-se na Fig. 4 que há uma camada da malha que varia em relação ao restante da geometria, isso ocorre por conta do uso da ferramenta *inflation* presente no *software*, que provoca um crescimento da camada de volume de controle em referência ao anterior, fazendo com que a diferença de tamanho dos volumes cresça de forma suavizada. Nesta ferramenta também foi inserido o valor de $y^+$ que basicamente representa a distância do primeiro volume de controle (espessura) em relação à parede. O mesmo depende da tensão de cisalhamento. Uma calculadora online foi utilizada para determinar a espessura do primeiro volume da malha, levando em consideração propriedades do fluido como: velocidade de corrente livre, massa específica, viscosidade dinâmica, comprimento da camada limite e o valor de $y^+$ desejado, que é de 0,95, sendo menor de 1, representando o estudo da camada viscosa.

Também, na superfície do pico mostrado na figura abaixo, foi utilizado a ferramenta *Edge Sizing*, onde com ela é possível dividir a malha com o número de divisões desejadas, e que foi assim feita para captar melhor os efeitos de recirculações presentes no escoamento após a passagem perturbada pela ruga.

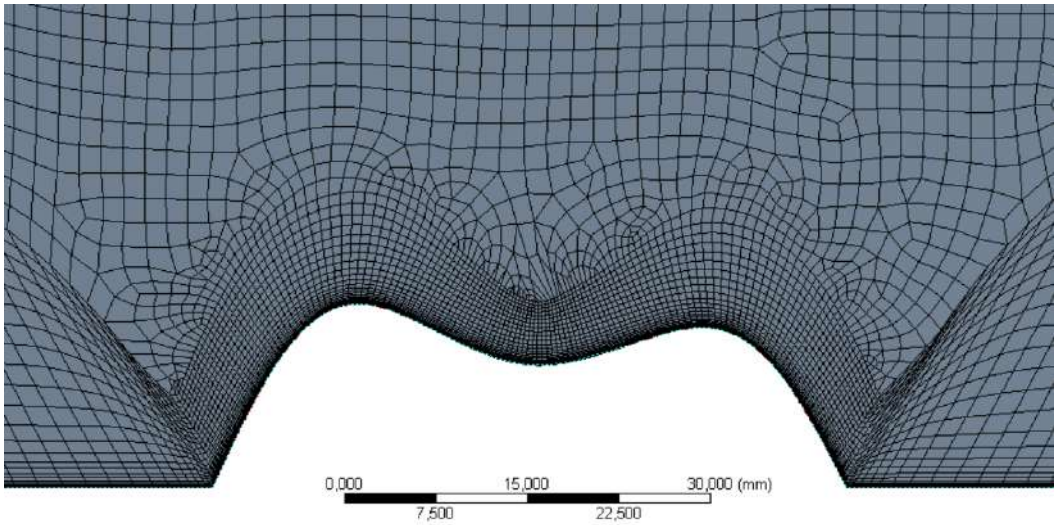



Figura 4 – Vista do refino feito próximo à superfície onde está localizada a ruga.

## 4. SETUP

O *software ANSYS Fluent* v.18.1 foi utilizado para as simulações. Para o problema de fechamento da turbulência o modelo utilizado é o *Transition* SST de 4 equações em regime transiente, justamente por ser o modelo indicado para números de $y^+ < 1$. O fluido analisado é o ar, com uma velocidade de entrada de 6 [m/s]. A condição de parede é dada para todo o domínio, com exceção da região de entrada do fluido (*inlet*) e região de saída (*outlet)*, a condição de *no slip wall* é atribuída para essas paredes. Efeitos gravitacionais são descartados.

O teste de independência de malha para esse caso não se mostra necessário, pois, trata-se de uma geometria simples, sendo assim, por maior que seja o refinamento aplicado, o tempo de simulação será minimamente alterado e o esforço computacional é baixo.

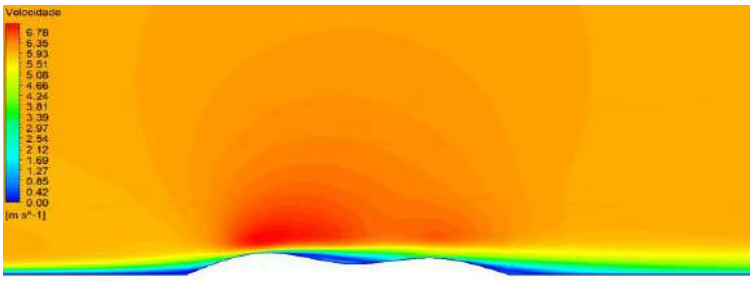
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados os resultados obtidos por meio da simulação numérica para a velocidade do escoamento, demonstrando o comportamento da mesma à montante e jusante da colina ondulada, como mostra a Fig. 5.

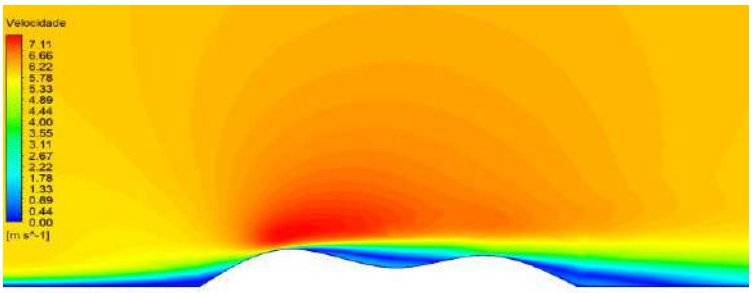
A velocidade do fluido representado na parte que se encontra na cor vermelha, é maior que a de corrente livre pré-estabelecida no início da simulação. Isso ocorre pelo fato do cumprimento da lei de conservação da massa do fluido em escoamento, que com o estreitamento da seção causada pela ruga, ocorre o efeito de confinamento no fluido, causando o acréscimo na velocidade do ar. Também, analisando a Fig. 5, nota-se que a influência do formato e altura da ruga, gera uma zona de obstrução do fluido ocasionando o seu agitamento e com isso há maiores vórtices gerados fazendo com que todo o escoamento dentro da camada limite seja afetada, com posições onde o fluido está sendo direcionado para o sentido contrário requerido, prejudicando o fluxo (principalmente após a colina, onde apresenta muita agitação do fluido com seu escoamento turbulento). Essas zonas de recirculação podem ser observadas tanto no escoamento posterior quando anterior à ruga, porém nesse último, esse evento ocorre com menor intensidade. Também pode ser observada a condição de não-deslizamento na parede; a região logo acima da parede é onde se situa a camada limite, que será perturbada pela ruga.

Outra análise interessante é a observação das velocidades sobre a superfície da ruga, conforme alteramos sua altura as velocidades no pico da segunda saliência da ruga tendem a diminuir, gerando uma zona ainda maior de recirculação do ar, esse fenômeno é o responsável pelas formações de dunas de areia no deserto e em leitos de rios, onde as partículas móveis se acumulam nas zonas de recirculação.

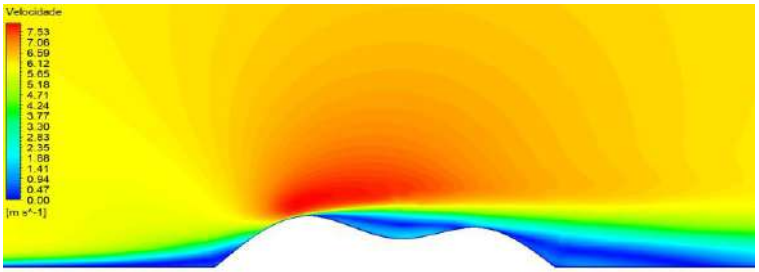
Caso 1



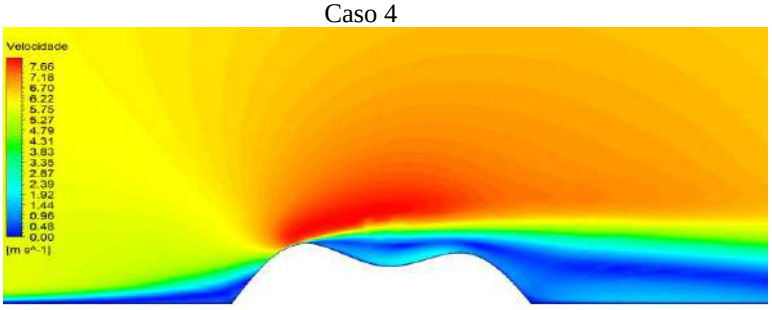

Caso 2




Caso 3




Caso 4




Caso 5

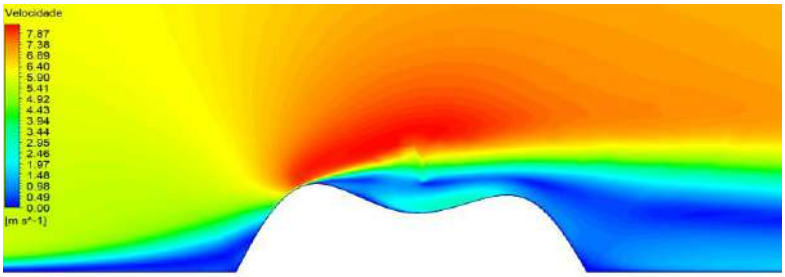



Figura 5 – Velocidade do escoamento para diferentes dimensões da ruga.

Para um melhor entendimento de tal evento, podemos considerar a primeira saliência da ruga como um obstáculo fixo e a segunda como partículas móveis. Nesse caso a segunda saliência tenderia a diminuir pois as partículas seriam

arrastadas, já a primeira saliência iria aumentar pois as partículas ficariam acumuladas no bordo de ataque aumentando a recirculação, gerando o acumulo ainda maior de partículas, formando assim uma única duna.

A Fig. 6 mostra os vetores de velocidades para a geometria do caso 5, onde é observado com clareza a zona de recirculação comentada anteriormente.

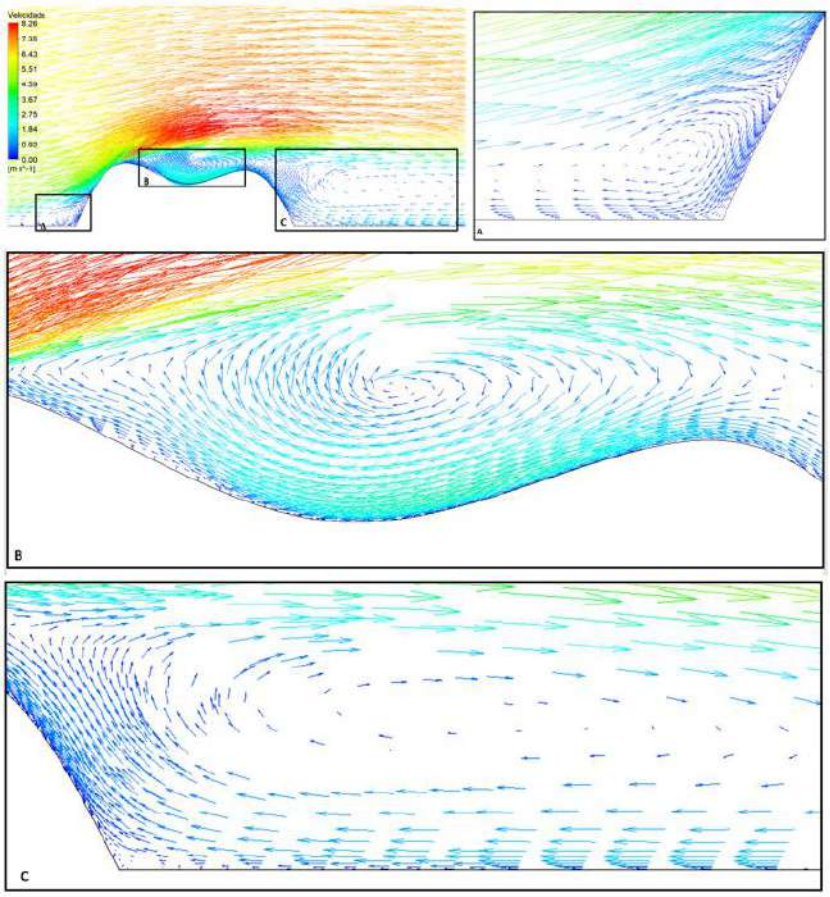



Figura 6 – Vetor de velocidade do escoamento no caso 5.

Para visualizarmos melhor a evolução da camada limite foram gerados gráficos da velocidade em pontos específicos. A Fig. 7 mostra a posição das linhas de tomada dos valores da velocidade em função da altura para a geração dos gráficos a seguir, em ambos os casos.

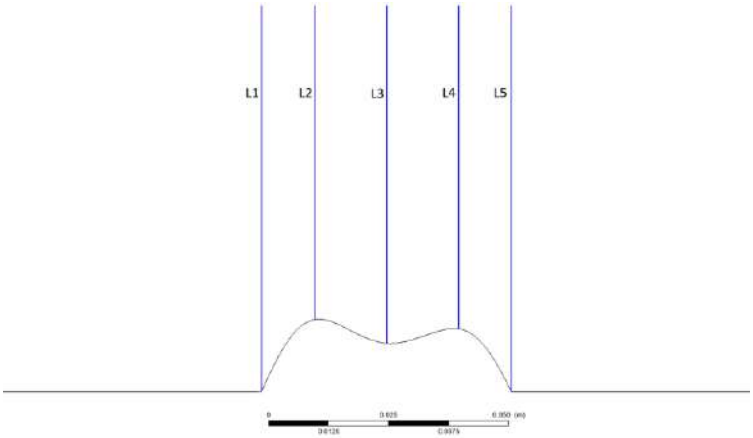



Figura 7 – Linhas de tomadas de velocidades.

Os gráficos a seguir (Fig. 8, 9 ,10, 11 e 12) relacionam o comportamento da velocidade com a altura da geometria para as linhas de tomadas L1, L2, L3, L4 e L5 respectivamente.

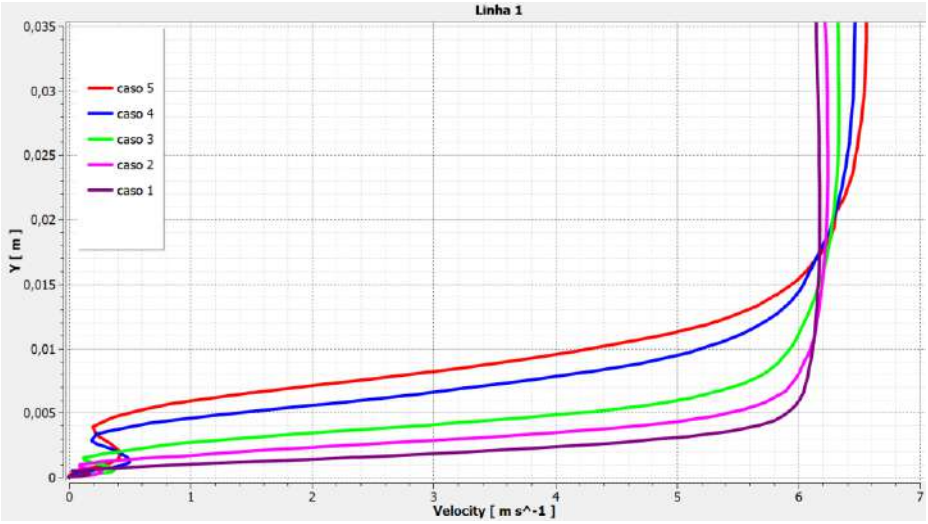



Figura 8 – Velocidade em função da altura em L1 (Fig. 7).

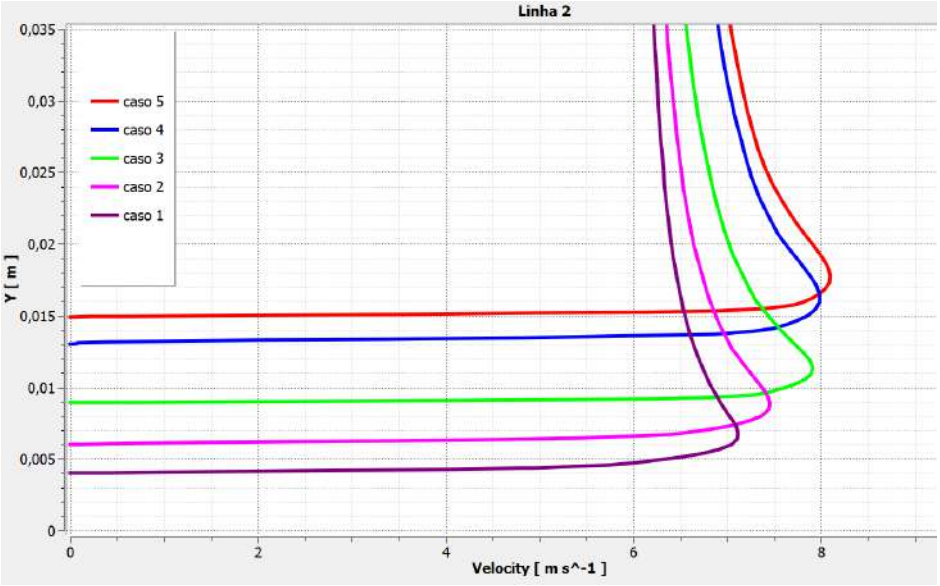



Figura 9 – Velocidade em função da altura em L2 (Fig. 7).

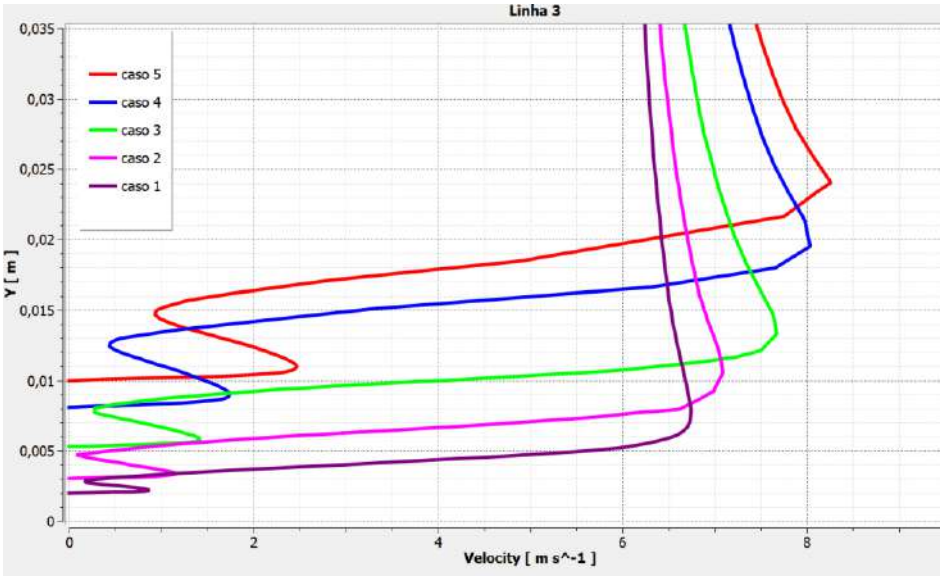



Figura 10 – Velocidade em função da altura em L3 (Fig. 7).

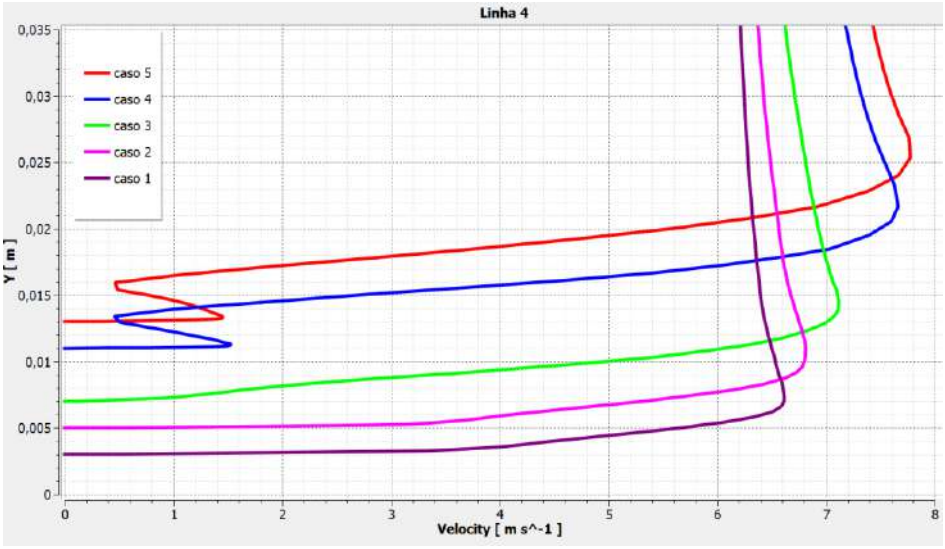



Figura 11 – Velocidade em função da altura em L4 (Fig. 7).

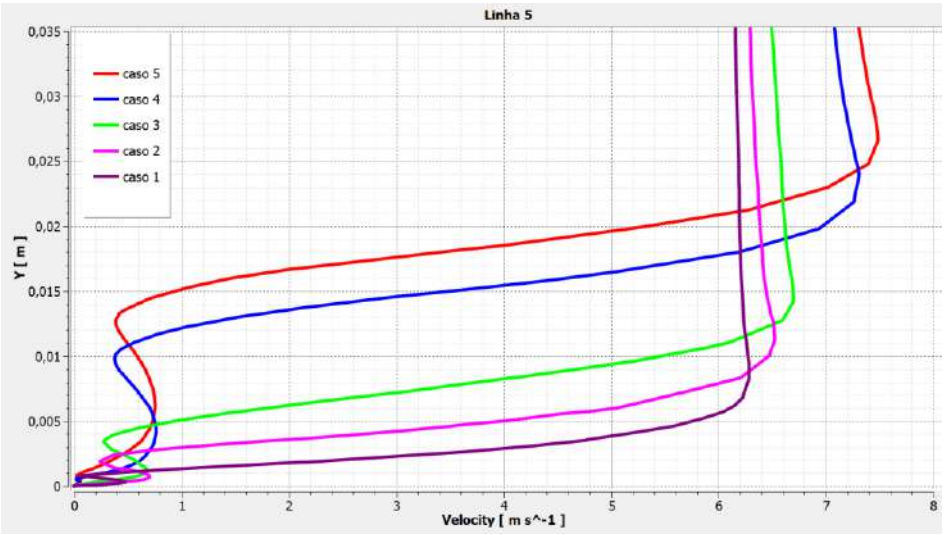



Figura 12 – Velocidade em função da altura em L5 (Fig. 7).

Analisando os gráficos, vemos que os casos 4 e 5 na linha de tomada 4, (Fig. 11) mostra uma recirculação maior do fluido causada pela altura da ruga, como pode ser observado também no detalhe B da Fig. 6 (onde há o segundo pico da ruga). Já o gráfico da Fig. 8 mostra a variação de velocidade na região de entrada onde também podemos observar a região de recirculação vista no detalhe A da Fig. 6. No gráfico da Fig. 8 é onde temos um campo de velocidades menos perturbado devido coincidir com a altura máxima da ruga. E por último os gráficos das Fig. 10 e 12 mostram uma região bastante perturbada, que se dá logo após as saliências da ruga (em L3 e L5).

Também observamos o cumprimento da Lei de Conservação da Massa, onde os casos 4 e 5 foram os que mostraram um valor de velocidade máxima no escoamento maior que os demais, isso porque são os dois casos que possuem uma perturbação do escoamento maior, com valores de altura da ruga maiores, sendo que isto acarreta uma aceleração do fluido para atender a mesma vazão com uma diminuição de área de seção transversal.

As características observadas na Fig. 6 também podem ser observadas nos gráficos, existe uma região na qual o estreitamento causado pela ruga que ocasiona um aumento de velocidade e, também há uma região de recirculação (anterior e posterior à ruga) de escoamento devido aos vórtices gerados, fazendo com que haja velocidades negativas, ou seja, contrárias ao escoamento induzido na entrada do domínio. Também pode ser observado que quanto maior é a perturbação, maiores são as velocidades de pico e velocidades geradas pela recirculação de fluido. Nota-se o efeito de recirculação elevada após a colina, gerada pela geometria ondulada, causando direções aleatórias no escoamento em muitos momentos.

## 6. CONCLUSÕES

A simulação computacional é uma ferramenta que possibilita analisar fenômenos físicos clássicos que são apresentados em sala de aula, e, portanto, ajuda-nos a obter uma compreensão maior desses eventos, permitindo uma investigação detalhada. A modelagem feita para esse caso é bidimensional (2D), variando a razão de aspecto de perturbações, com o intuito de analisar qual a influência de tal perturbação em uma corrente de escoamento uniforme.

Pode-se observar a forma como a ruga interfere o escoamento, gerando uma região de aceleração devido ao estreitamento de passagem de fluido. Também pode ser visualizada a região onde ocorre a condição de não-deslizamento, ou seja, velocidade nula na região de contato com a parede. Esse efeito tem sua intensidade aumentada quanto maior for à perturbação no escoamento.

O estudo da camada limite tem se mostrado de grande valia pra melhor entender os fenômenos físicos envolvidos no que se diz respeito a comportamento aerodinâmico, tais conhecimentos podem ser aplicados nas soluções de problemas, como a geração de dunas a fim de se criar barreiras naturais contra ventos fortes, como também entender e analisar a formação dos leitos de rios por exemplo.

## 7. REFERENCES

Cúñez, F. and FRANKLIN E., 2016. *Experiments on the perturbation of a channel flow by a triangular hill.* 18th International Symposium on the Aplication of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics, Lisboa, Portugal.

Hunt, J.C.R., Leibovich S., Richrds K.J., 1988. *Turbulent shear flow over hills,* Quart. J. R. Met. Soc., 114, 1435.

Jackson, P.S., Hunt J.C.R, 1975. *Turbulent wind flow over a low hill*, 1975. Quart. J. R. Met. Soc., 101,929.

Passos, J.C., 2010. *O conceito de camada limite: uma revisão crítica de livros texto de transferência de calor***.** VI Congresso nacional de engenharia mecânica, Paraíba, Brasil.

## 8. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR DO TIPO *INTERCOOLER* PARA UM MOTOR SOBREALIMENTADO DE CICLO OTTO

**Fernando Zaffari Carmo**
**Luís Edson Saraiva**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285 São José, Passo Fundo –RS.
128471@upf.br, saraiva@upf.br, mwalber@upf.br

**Resumo:** *O uso pelos fabricantes deste tipo de trocador de calor cresceu consideravelmente nos últimos anos, diante da utilização de motores com capacidades volumétricas menores e com turbocompressores associados (downsizing). Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um procedimento para o dimensionamento do intercooler para uma aplicação em um motor de combustão interna de ciclo Otto. A importância do intercooler se dá pela função de trocar calor e resfriar o ar que circula entre a turbina e o coletor de admissão. O ar é resfriado no intercooler, o que permite que, ao ser admitido no coletor, esteja mais frio (mais denso), possibilitando uma eficiência maior, uma maior pressão de funcionamento do turbocompressor e mais potência. A utilização de parâmetros de funcionamento e metodologia de cálculos corretos é essencial para se obter dimensões adequadas e evitar problemas de funcionamento do sistema, desta forma será desenvolvido o procedimento para o correto dimensionamento de um intercooler.*

***Palavras chave:*** *turbocompressor, turbina, downsizing.*

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de motores pequenos turboalimentados é cada vez mais comum entre as principais montadoras do mercado, esta tecnologia tem a vantagem de tornar o motor mais eficiente, com um tamanho reduzido, desperdiçando menos energia (em atrito) e reduzindo o peso do veículo. As principais características nesta tecnologia (*downsizing*) são: redução no consumo de combustível, diminuição na emissão de poluentes e uma maior potência. A importância desta tecnologia está na diminuição da emissão de poluentes, que é cada vez mais rígida, com o intuito de diminuir o impacto na natureza e nas mudanças climáticas. O aumento da potência está diretamente ligado ao uso associado de um turbocompressor com um *intercooler*, que aumenta a quantidade de ar admitida pelo motor e, o *intercooler* resfria este ar, conseguindo aumentar a densidade. A utilização do *intercooler* é importante para um bom funcionamento do sistema e para melhorar ainda mais o rendimento nos motores downsizing. O princípio de funcionamento está no resfriamento do ar após ser pressurizado pela turbina e ao se chocar com as aletas internas do *intercooler* se resfrias. Desta forma, o ar fica mais denso e é possível se admitir uma maior quantidade para dentro da câmara de combustão, assim gerando mais potência e melhorando o rendimento do sistema. O trabalho possuí o objetivo geral de estabelecer uma metodologia de cálculo para o dimensionamento do tamanho do núcleo de *intercoolers* para motores sobrealimentados, respeitando valores dos fabricantes e com o objetivo de melhorar a performance do sistema e reduzir o consume de combustível.

## 2. TPROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para garantir uma maior eficiência dentro do interior do *intercooler* denominado *core* (Figura 1), é necessário partir de um regime transitório conforme Rodrigo (2017) descreve. Desta forma, se garante que quando ocorrer uma maior carga térmica, e a interação das moléculas também será grande. Contudo, se a velocidade de funcionamento for baixa demais a eficiência diminui e, se for grande demais gera uma turbulência e consequentemente uma perda de carga (e até erosão). Assim, a velocidade recomendada para o fluido deve estar entre 10 a 30 metros por segundo, e a perda de pressão entre 13,79kPa a 34,48 kPa.

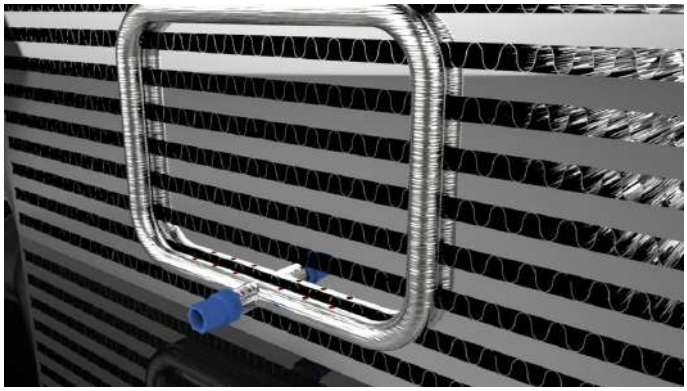


Figura 1. Interior do *Intercooler* (*core*)

O motor utilizado para se realizar o dimensionamento é de quatro cilindros de aspiração sobrealimentada com duas válvulas para admissão e duas para o escape, com capacidade volumétrica de 1998cm³, 150kW de potência e 32% de eficiência térmica. Para iniciar o procedimento de dimensionamento do trocador do tipo *intercooler* foi necessário calcular o Consumo Específico Indicado (CEI) através da Equação (1), que é relacionado ao Poder Calorífico Inferior (PCI) do combustível selecionado na Tabela 1 e, a eficiência térmica do motor.

Segundo Jorge (2016) o Consumo Específico Indicado é um parâmetro importante que demonstra como o combustível é transformado em trabalho. E que o Poder Calorífico Inferior é determinado pela energia interna (ou entalpia) dos produtos de combustão e dos reagentes.

Tabela 1. Poder Calorífico Inferior

| Combustíveis | Gasolina | Diesel | Etanol | Metanol |
|---|---|---|---|---|
| Poder Calorífico Inferior (kWh/kg) | 12,2 | 12,0 | 7,5 | 5,6 |

$$CEI = \frac{1}{PCI \,.\, \eta} \tag{1}$$

Onde:
CEI Consumo Específico Indicado (kg/kWh)
PCI Poder Calorífico Inferior (kWh/kg)
η Eficiência térmica do motor (%)

Após o cálculo do CEI, foi escolhido o valor da relação ar-combustível (λ) na Tabela 2 para ser utilizado no cálculo da vazão mássica do motor, Equação (2).

Conforme descrito por Jorge (2016, p.68) "Um motor de combustão interna está limitado pela quantidade de ar que pode entrar em cada ciclo, pois tem um voluma varrido fixo. Relativamente à quantidade de ar admitido, o motor tem de receber uma dada quantidade de combustível. À relação entre estas duas quantidades dá-se o nome de relação ar-combustível ou A/F (F vem de "*fuel*")".

Tabela 2. Relação Ar-Combustível

| Limites | λ | Gasolina | Diesel | GNV | Etanol | Metanol |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Limite econômico | 1,15 | 16,9 | 16,7 | 17,8 | 10,3 | 7,3 |
| Estequiométrico | 1,0 | 14,7 | 14,5 | 15,5 | 9,0 | 6,4 |
| Limite potência | 0,85 | 14,3 | 12,3 | 13,1 | 7,6 | 5,4 |

$$\dot{m} = P \,.\, \lambda \,.\, CEI \tag{2}$$

Onde:
$\dot{m}$ Vazão mássica do motor (kg/s)
P Potência do motor (kW)

λ Relação Ar-Combustível
CEI Consumo Específico Indicado (kg/kWh)

Com o cálculo da vazão mássica do motor, foi realizado o cálculo do diâmetro ideal para o valor encontrado, considerando 30m/s a velocidade do fluxo no interior da tubulação, Equação (3).

$$D = \sqrt{\frac{4 \,.\, \dot{m}}{V \,.\, \pi \,.\, \rho}} \tag{3}$$

Onde:
D Diâmetro da tubulação (m)
$\dot{m}$ Vazão mássica (kg/s)
V Velocidade do fluxo (m/s)
$\rho$ Massa específica do ar (kg/m³)

Em seguida, foi necessário calcular o número de Reynolds (Re) do fluxo no interior da tubulação, porém com o valor da vazão mássica mínimo (0,04166kg/s) para verificar se o fluxo será turbulento o suficiente para que a troca térmica ocorre de maneira satisfatória. O número de Reynolds é uma grandeza adimensional que utilizada para determinar o estado de deslocamento do fluxo, e este regime de escoamento do fluido é identificado em:

- Laminar (Figura 2): o fluido se movimento ao longo de trajetórias bem definidas, não há interação entre as camadas, este deslocamento ocorre em velocidades baixas e em fluidos que apresentam grande viscosidade. Nas tubulações o valor de até 2300 é considerado escoamento laminar para os valores de Reynolds.



Figura 2. Escoamento Laminar

- Turbulento (Figura 3): o fluido se movimenta ao longo de trajetórias sem ter camadas bem definidas (movimento aleatório), desta forma a interação entre as partículas é alta. E o valor para se considerar um escoamento turbulento em tubulações é acima de 2300 para valores de Reynolds.

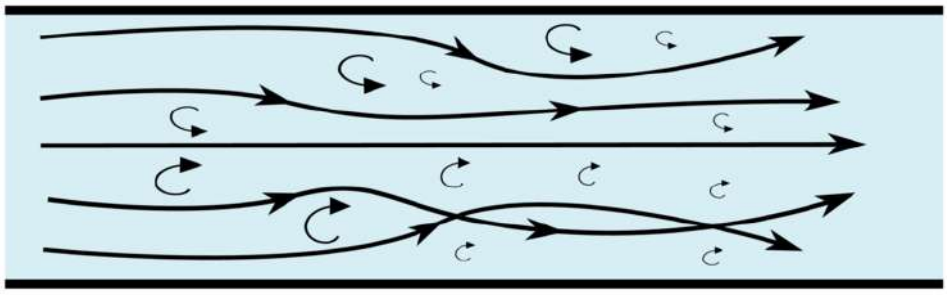


Figura 3. Escoamento Turbulento

Foi utilizado a Tabela 3 para identificar a propriedade do ar naquela condição e a Equação (4) para se obter o número de Reynolds.

Tabela 3. Propriedades do ar

| Temperatura (ºC) | Calor específico cp (kJ/kgK) | Condutividade térmica (W/mK) | Massa específica (kg/m³) | Viscosidade Cinemática 10^-6 (m²/s) |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 1,009 | 0,0292 | 1,029 | 19,94 |
| 80 | 1,010 | 0,0299 | 1,000 | 20,94 |
| 90 | 1,010 | 0,0306 | 0,972 | 22,00 |

$$Re = \frac{4 \,.\, \dot{m}}{\pi . \mu . D} \tag{4}$$

Onde:
Re Reynolds
$\dot{m}$ Vazão mássica (kg/s)
D Diâmetro da tubulação (m)
$\mu$ Viscosidade Cinemática 10^-6 (m²/s)

Desta forma, é identificado que o regime de escoamento é turbulento, mesmo em baixas velocidades. O próximo passo foi realizar o cálculo da área da tubulação Equação (5) e considerar a área das barras que fazem parte da estrutura (Figura 4) das outras tubulações, valor que deve ser considerado 45% maior que o ideal Equação (6).



Figura 4. Vista da estrutura interna do *intercooler*

$$A = \pi \,.\, R^2 \tag{5}$$

Onde:
A Área da tubulação ideal (m²)
R Raio da tubulação (m)

$$A_{ST} = A \,.\, 1{,}45 \tag{6}$$

Onde:
$A_{ST}$ Área da Secção Transversal (m²)
A Área da tubulação ideal (m²)

A recomendação dos fabricantes é que trocadores do tipo ar/ar preferencialmente não devem ter a largura maior que cinco polegadas (127mm), devido à restrição ao fluxo externo e que o veículo tenha que se deslocar em uma maior velocidade para o trocador de calor ser eficiente.

Existem no mercado fabricantes e fornecedores que utilizam uma regra de aproximação para determinar o tamanho do *intercooler* conforme a potência do motor do veículo. A regra determina que cada cavalo de potência desejado é necessário 4,5cm² de área, o que é questionável, devido a não se considerar alguns fatores como: viscosidade do fluido, densidade do ar nos dutos, velocidade do fluxo etc.

## 3. RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados alguns resultados já obtidos no desenvolvimento de um procedimento para o dimensionamento de um trocador do tipo *intercooler* para um veículo com um motor de combustão interna. As especificações do motor foram o primeiro passo para o dimensionamento, foi utilizado para fins de cálculos um motor de quatro cilindros de aspiração sobrealimentada com duas válvulas para admissão e duas para o escape, com capacidade volumétrica de 1998cm³, 150kW de potência e 32% de eficiência térmica. As etapas para o dimensionamento até o momento foram:

- Cálculo do Consumo Específico Indicado;
- Cálculo da Vazão mássica do motor;
- Cálculo do Diâmetro ideal para a vazão mássica;
- Cálculo do Número de Reynolds para o deslocamento do fluxo;
- Cálculo da Área da tubulação ideal;
- Cálculo da Secção transversal.

O primeiro cálculo realizado foi o de Consumo Específico Indicado (Equação 16) para se determinar o quanto de combustível é transformado em trabalho, também foi necessário determinar o valor utilizado para o Poder Calorífico Inferior do combustível utilizado (Tabela 1) que é determinado pela energia interna (ou entalpia) dos produtos de combustão e dos reagentes.

Após o resultado do cálculo do CEI, foi necessário identificar o valor da relação ar-combustível (λ) na Tabela 2, foi necessário utilizar o valor Limite de potência, conforme Jorge (2016) recomenda em sua literatura. Com a identificação realizada o cálculo da vazão mássica (Equação 17) foi obtido. Com o valor da vazão mássica foi possível realizar a determinação do diâmetro ideal da tubulação do *intercooler*, um cálculo de extrema importância, pois se for um valor muito elevado ocorre perdas no interior do trocador de calor. O resultado foi de, aproximadamente 2,83 polegadas, um valor de acordo com o esperado, e com uma área de: $0{,}004053\ m^2$.

O número de Reynolds (Equação 18) foi calculado com a menor vazão mássica possível, desta forma foi possível identificar se o escoamento do fluido era laminar ou turbulento dentro da tubulação, e foi identificado que é turbulento, com movimentos aleatórios e havendo uma interação entre as moléculas. O passo seguinte foi o cálculo da Área da Secção Transversal do *intercooler*, visto que conforme a Figura 17 há barras que fazem parte da estrutura do trocador de calor, e como não há fluxo nesta área devemos considerar uma área 45% maior que a ideal conforme Rodrigo (2017).

A seguir na Tabela 4 consta os resultados já obtidos no desenvolvimento do procedimento de dimensionamento do *intercooler*.

Tabela 4. Resultados obtidos

| Fórmula | CEI (kg/kWh) | Vazão mássica do motor (m) | Diâmetro Ideal (m) | Número de Reynolds | Área da Tubulação ideal (m²) | Área da Secção Transversal (m²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Resultado: | 0,25 | 0,149 | 0,07184 | 35260 | 0,004053 | 0,005876 |

O próximo resultado a ser obtido é a temperatura na descarga do compressor, será considerado a temperatura na entrada do *intercooler* a mesma utilizada para a admissão no compressor, segundo Rodrigo (2017) é aconselhável devido a temperatura próxima ao asfalto ser mais altas. É possível também, se determinar a temperatura ambiente buscando uma média anual na cidade local e na região, e se adicionar 10ºC para se obter um valor mais próximo ao do asfalto.

Para dar continuidade ao trabalho alguns cálculos são necessários serem realizados para o procedimento de dimensionamento ficar completo, bem como:

- Determinação da temperatura de descarga do compressor;
- Cálculo da capacitância;
- Determinação da efetividade;
- Cálculo do NUT;
- Cálculo da área do topo de duto do trocador;
- Cálculo das dimensões a partir da área de um retângulo;
- Escolha do *core* conforme a disponibilidade comercial.

## 4. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste procedimento para o dimensionamento do trocador de calor do tipo *intercooler*, percebeu-se que é de extrema importância seguir um processo passo a passo. Por exemplo, devemos evitar um dimensionamento restritivo que gere perda de carga excessiva, seguindo um caminho mais simples. O lógico seria utilizar tubos mais largos que teriam uma menor restrição. Porém, devido ao fato de dutos largos causarem uma menor velocidade de fluxo, impactam diretamente na capacidade de transferência de calor, e se obtemos uma velocidade menor, o *intercooler* terá uma capacidade de resfriamento menor.

Foi importante iniciar o dimensionamento identificando o motor e suas características, bem como estabelecer os parâmetros de funcionamento. O passo seguinte foi realizar os cálculos para se obter a área ideal da secção transversal do *intercooler*, e se analisar os resultados.

Na determinação da temperatura de descarga do compressor, o ar na saída do turbocompressor já absorveu uma grande quantidade de energia na forma de calor e para se obter um dimensionamento correto do trocador de calor, é preciso definir a quantidade exata de calor que foi absorvido na condição de maior carga. E para isso ser dimensionado é indispensável se calcular esta temperatura.

Em seguida será necessário determinar a efetividade, ou seja, analisar a transferência de calor entre o ar quente (compressor) e o ar ambiente que irá percorrer o trocador de calor externamente (fluido frio). Será levado em consideração a condutividade térmica de todo o conjunto devido a não se definir as temperaturas de saída. Após o resultado da efetividade será possível se identificar o Número de unidades de transferência (NUT) e consequentemente se calcular a área de topo de duto do trocador e se calcular as dimensões a partir da área de um retângulo. A partir disso será realizada a escolha do *core* conforme a disponibilidade comercial.

## 5. REFERÊNCIAS

CLAUDIO PALEARI COSTANTIN, Luis. “Dimensionamento de turbocompressores para aplicação em motores de combustão interna”. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA UFU, UBERLÂNDIA, 2017.

COELHO, Pedro. “Número de reynolds (RE)”. https://www.engquimicasantossp.com.br, 2013. Disponível em: https://www.engquimicasantossp.com.br/2013/10/numero-de-reynolds.html. Acesso em: 15 maio 2019.

Costa Araújo, E. C. “Trocadores de Calor – Série Apontamentos”. EdUFSCar; 2002.

GEORGIOS, Stefanidis Christos. *Intercooler*. https://grabcad.com, 2014. Disponível em: https://grabcad.com/library/intercooler-3. Acesso em: 3 abr. 2019.

HENRIQUE MENEZES DE LIMA, Lucas. “Avaliação da influência do uso de *intercooler* no desempenho de um motor de combustão interna.” 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA UFU, UBERLÂNDIA, 2018.

MARTINS, Jorge. “Motores de Combustão Interna”. 5ª edição, Portugal, Engebook, 2016.

MOREIRA DA SILVA, Anderson. “Simulação e análise do *intercooler* em motores *otto* originais de fábrica”. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA POLITÉCNICA, São Paulo, 2008.

PASSOS, Rodrigo. “*Intercoolers*, resfriadores e injeção de água: tudo o que você queria (e precisa) saber sobre”. Brasil, 3 mar. 2017. Disponível em: https://www.flatout.com.br/intercoolers-resfriadores-e-injecao-de-agua-tudo-o-que-voce-queria-e-precisa-saber-sobre/, 2019.

PASSOS, Rodrigo. “Tudo sobre turbo: como funciona a geometria variável, compressão e mapas”. Brasil, 9 ago. 2016. Disponível em: https://www.flatout.com.br/tudo-sobre-turbo-como-funciona-a-geometria-variavel-compressao-e-mapas/, 2019.

SARAIVA, Luís Edson. “Transferência de Calor - MEC030.” Passo Fundo: [*s. n.*], 2017.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO E ANÁLISE AERODINÂMICA DO ESCOAMENTO DE AR ENTORNO DE CAMINHÕES COM CARROCERIA FECHADA

**Ghabriel Moccellin Annes**
**Rubens Stuginski Jr**
**Márcio Walber**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
84369@upf.br; 82068@upf.br; 150758@upf.br; rubens@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo:*** *Neste trabalho pretende-se focar na análise aerodinâmica de caminhões em regime de trabalho rodoviário com ênfase nas forças de arrasto que atuam sobre este e como essas forças são influenciadas por componentes/acessórios presentes no veículo. Em particular, este trabalho centralizará os esforços na análise de defletores de ar colocados em caminhões com objetivo de redução de arrasto, a partir da comparação de caminhões sem defletores, aqueles com defletores. Ainda são comparados modelos que visam demonstrar a influência de um caminhão trafegando no vácuo de outro caminhão, alternando distância entre os mesmos e suas respectivas velocidades, além disso, será estudado formas e dimensões desses defletores e sua influência nos valores finais do coeficiente de arrasto. O consumo de combustível em si, não é objeto de estudo deste trabalho.*

***Palavras chave:*** *aerodinâmica, coeficiente de arrasto, defletores, caminhão, escoamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e os avanços tecnológicos decorrentes da evolução de equipamentos disponíveis no mercado, computadores e máquinas que antigamente eram extremamente caros e pouco efetivos, hoje se tornaram acessíveis e indispensáveis em qualquer indústria. Devido a essa melhoria de equipamentos os softwares consequentemente evoluíram, tornaram-se mais potentes e aptos a executar mais tarefas, assim sendo, a simulação computacional passou a ocupar um lugar de destaque no mercado, principalmente na área de mecânica dos fluidos.

A simulação computacional permite uma análise numérica de diversos problemas encontrados na indústria, tornando a solução mais prática e economicamente mais atrativa, com resultados bem aproximados da realidade. Utilizando técnicas de análise numérica de CFD é possível reduzir a quantidade de protótipos e testes práticos, pois ao realizar um pré-processamento virtual, características como as reações mecânicas de determinados componentes, comportamento dos fluidos e seu impacto sobre o sistema são obtidas com antecedência e assim modificadas para atender melhor o projeto.

A análise aerodinâmica veicular por meios virtuais, CFD se torna considerável e instigante por disponibilizar, mesmo que de forma aproximada, dados como coeficiente de arrasto, turbulência e pressão. Dados estes, que possuem grande utilidade ao se projetar uma geometria de veículos, melhorando assim sua capacidade aerodinâmica, aumentando sua performance (economia de combustíveis), até mesmo, reduzindo a poluição gerada.

Em razão da grande importância de técnicas de CFD, este trabalho tem o intuito de estudar o escoamento em torno de superfícies simples que representem um caminhão de carroceria fechada com o uso de técnicas de CFD. O software escolhido para realizar esse estudo foi o OpenFoam©, por se tratar de um software aberto e mais didático. Foram realizados testes no modelo de caminhão selecionado com e sem defletores, buscando compreender as forças aplicadas ao modelo e as suas variações, juntamente ao coeficiente de arrasto, a pressão e a turbulência causadas pelos mesmos, a fim de buscar a influência dos defletores no escoamento externo em relação ao modelo original. O modelo aperfeiçoado então, serviu de base para a próxima análise, à de correntes de ar (“o vácuo”), onde um caminhão A foi posto a uma distância X do caminhão B, com o intuito de analisar as influências desse fenômeno no coeficiente de arrasto do caminhão B, posicionado atrás. As condições iniciais do escoamento se mantiveram constantes durante todas as simulações, tendo como variável os diferentes modelos de defletores, as velocidades do escoamento e as distâncias entre caminhões.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica terá enfoque em assuntos relacionados à formulação matemática necessária, aos modelos de turbulência, à geração de malhas, à Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) e a aerodinâmica veicular, visando o embasamento teórico para a realização do trabalho proposto.

### 2.1 Turbulência

Esta seção proporcionará uma visão inicial de como são definidos os escoamentos turbulentos, seus métodos de cálculo utilizados nas simulações e o porquê são necessários.

Segundo Silveira Neto (2002), o tipo de escoamento que possui maior frequência tanto nas aplicações práticas de engenharia, quanto na natureza em si é de origem turbulenta, portanto é de grande interesse da comunidade acadêmica conhecer e entender esses tipos de fenômenos, pois os mesmos incertos, podendo variar com o tempo, espaço, velocidade e etc.

Ao analisar a turbulência para escoamentos externos como por exemplo ao redor de um automóvel, a camada limite fica confinada em uma região próxima a parede, com isso o escoamento que se situa distante da parede possui uma viscosidade desprezível, podendo considerar assim o escoamento como não víscido (SAYMA, 2009).

Segundo Sayma (2009), para entender como essa camada limite é formada uma placa é colocada em um escoamento com velocidade U constante, como mostra a Figura 1. O escoamento atinge velocidade igual a zero perto da parede, devido ao atrito, consequentemente este atrito influência no restante do escoamento ocasionando um arrasto das moléculas, porém longe da parede a velocidade continua sendo U. Assim se forma uma camada junto da parede, na qual a velocidade varia de 0 até U.

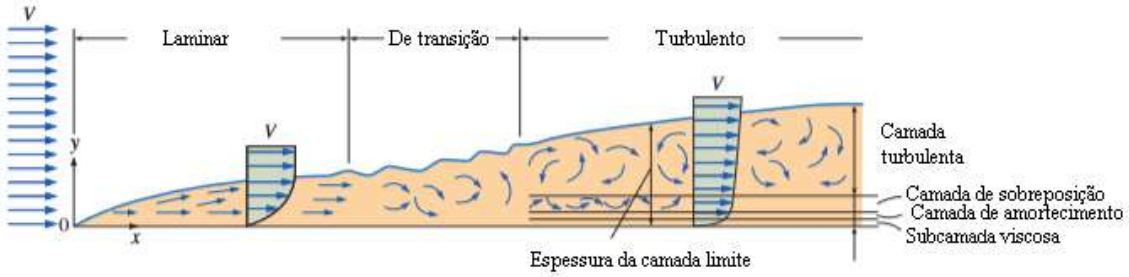



Figura 1. Formação da camada limite em uma placa plana sujeita a escoamento externo

Está camada limite formada rente a parede, começa laminar com um baixo número de Reynolds, que é definido pela equação 1, o que significa que as forças de inercia são menores que as forças de viscosidade. À medida que o número de Reynolds aumenta, as forças de inercia começam a dominar o escoamento, causando instabilidade na camada limite, ocasionando uma zona de transição, até que o fluxo de escoamento laminar se transforme em fluxo de escoamento totalmente turbulento (SAYMA, 2009). Vale ressaltar que o número de Reynolds é adimensional, ou seja, deve haver coerência de unidades.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V L}{\mu} \tag{1}$$

Para solucionar problemas ligados a turbulência na ótica computacional, foram desenvolvidos métodos numéricos, dentre eles os modelos de uma equação e os modelos de duas equações, porém os mais difundidos são os de duas equações, que por fornecerem duas equações de transporte extra para representar as propriedades turbulentas do fluxo se tornam mais completos (WILCOX, 1994). Modelos de duas equações como o modelo $k$-$\varepsilon$ (k-epsilon) e o modelo $k$-$\omega$ (k-omega) são largamente utilizados na área industrial, pois conseguem resolver a maioria dos problemas apresentados na engenharia.

### 2.2 Aerodinâmica veicular

Com a crescente utilização das técnicas de CFD, como foi citado, o uso desses métodos computacionais demonstra grande importância na engenharia atual atingindo diversas áreas, principalmente a aerodinâmica. Todo e qualquer corpo exposto a algum tipo de escoamento está sujeito à ação de forças permanentes e transientes, as quais podem influenciar a performance do corpo a ser analisado.

De acordo com Hucho (2003), os objetivos da aerodinâmica veicular são muitos, indo desde estabilidade, conforto e visibilidade até resfriamento (motor, freios, transmissão, etc) e performance (economia de combustível, velocidade

máxima, aceleração, emissão de gases, etc), o que mostra que a aerodinâmica é muito mais que arrasto e propriedades ligadas a performance.

Portanto quanto menor o valor do coeficiente de arrasto (CD) de um veículo, mais aerodinâmico ele se torna, porém, a pesquisa da aerodinâmica veicular sempre esteve à frente da aplicação prática dessa tecnologia, visto que em 1922 já era possível um CD = 0,15 em um corpo com rodas, mas a aplicação desse valor nos automóveis só foi possível 40 anos depois. Porém o grande potencial dessa tecnologia vem sendo utilizado cada vez mais, tendo seu limite ditado apenas pelos futuros custos do petróleo, legislações contra a emissão de gases-estufa (CO2) etc.

Com a chegada das técnicas de CFD, o processo de design de veículos foi modificado, agora em vez de produzir modelos em escala reduzida para testes em túneis de vento, esses modelos são construídos em 3D e simulados de forma computacional, sujeitos a muitas horas de análise, sofrendo algumas alterações prévias apontadas pelos resultados obtidos na simulação, passam para modelos em escala real que são testados em túneis de vento (GAYLARD, 2009).

### 2.3 Métodos de redução de arrasto

Com o intuito de se reduzir o arrasto de um corpo são aplicadas carenagens/defletores, isso faz com que a capacidade do corpo de penetrar o escoamento aumente, melhorando sua aerodinâmica. O arrasto não é sempre ruim, às vezes ele se torna necessário em certas ocasiões, como na fricção do freio de um automóvel aumentando a segurança, fazendo com que as pessoas possam fazer o uso de paraquedas entre outras. Porém não é o caso da aerodinâmica, portando devemos procurar maneiras de diminuir a influência desse fenômeno para garantir uma melhor performance (ÇENGEL E CIMBALA, 2012).

Ao se aplicar uma carenagem/defletor em um automóvel ocorre um fenômeno dividido entre arrasto de fricção e arrasto de pressão sendo um diferente do outro, conforme Çengel e Cimbala (2012). O arrasto de pressão é diminuído com a utilização de tais equipamentos, devido a separação da camada limite, reduzindo assim a diferença de pressão entre a parte da frente e a parte de trás do corpo, entretanto a área superficial aumenta, consequentemente ocorre um aumento do arrasto por fricção, o resultado final dependerá de qual efeito é dominante. Portanto qualquer estudo que vise otimizar um corpo reduzindo seu coeficiente de arrasto deve considerar ambos os efeitos e se preocupar em minimizar a soma dos dois, como mostra o gráfico da Figura 2, representando a relação entre a altura (D) e o comprimento (L) da forma aerodinâmica apresentada.

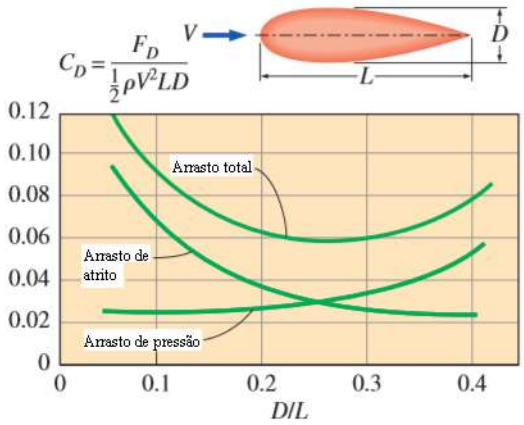



Figura 2. Arrasto de atrito e arrasto de pressão em função da relação entre a altura e o comprimento do corpo.

O mínimo arrasto total ocorre em D/L = 0,25 (Figura 2). Para o caso de um cilindro circular com a mesma espessura da forma aerodinâmica da Figura 2, o coeficiente de arrasto seria cerca de cinco vezes maior. Portanto, é possível reduzir o arrasto de um componente cilíndrico para um quinto com o uso de carenagens adequadas.

Contudo a utilização de carenagens/defletores deveria ser considerada somente para corpos cegos com dificuldades de penetrar no escoamento e que estejam sujeitos a escoamentos de alta velocidade (com elevado número de Reynolds) para os quais a separação da camada limite é real. Não sendo necessária a utilização desses equipamentos em corpos que evolvem números baixos números de Reynolds, visto que nesses casos a maior percentagem de arrasto se dá devido ao arrasto por fricção, ou seja, ao adicionar carenagens/defletores nesses casos só aumentará a área superficial, consequentemente aumentando o arrasto total. Portanto o uso descuidado de carenagens/defletores só aumentará o arrasto em vez de diminuí-lo (ÇENGEL E CIMBALA, 2012).

De acordo com Harun et.al (2013), existem diversas lacunas em um caminhão semirreboque que prejudicam a sua aerodinâmica, aumentando o coeficiente de arrasto total, sendo elas espaços abertos que podem ser encontrados entre o caminhão e o semirreboque, vãos perto da seção inferior da unidade do semirreboque, além das rodas também serem

mantidas descobertas. Sendo assim é possível cobrir essas lacunas total ou parcialmente com o uso de carenagens/defletores fixas ou destacáveis melhorando seu desempenho em relação ao arrasto.

## 3. METODOLOGIA

Nesta seção são descritos os procedimentos empregados para desenvolver a segunda etapa do trabalho em questão. O foco do trabalho é o estudo dos modelos de defletores mais utilizados no mercado e a influência de correntes de ar turbulentas geradas por uma passagem prévia de outro veículo de mesmo porte e aerodinâmica, ou mais comumente chamado como "vácuo", sobre o escoamento externo ao redor de caminhões com carroceria fechada para analisar a influência causada por esses fatores, são executadas simulações e análises em cada variação do modelo base, constituídos de modelo base mais defletor, alterando somente o tipo de defletor utilizado com o intuito de selecionar o melhor modelo, tendo como critério de avaliação os valores obtidos de coeficiente de arrasto (Cd), todas as condições inicias se mantêm constantes. Partindo do modelo selecionado, é possível simular a influência das correntes de turbulência sobre o escoamento, criando casos onde somente se alterna a velocidade e a distância entre os modelos de caminhões escolhidos, e, por fim, analisar e comparar os resultados obtidos de cada caso.

### 3.1 Defletores

Com base na análise do escoamento externo no modelo base X2 desenvolvida na primeira etapa deste trabalho, foi possível identificar zonas de pressão, as quais foram destacadas, como pode ser observado novamente na Figura 3, visto que as medidas de pressão e velocidade geradas são inversamente proporcionais, ou seja, nas zonas aonde a coloração é mais azulada (velocidade próxima a zero), são as zonas onde a pressão possui sua maior incidência. Estas zonas de concentração de turbulências prejudicam a performance aerodinâmica do caminhão e, portanto, foram o foco na utilização dos defletores, com o intuito de diminuir ou remover a incidência de vórtices turbulentos nestas regiões, melhorando assim a aerodinâmica do caminhão, consequentemente diminuindo ao máximo o coeficiente de arrasto do mesmo.

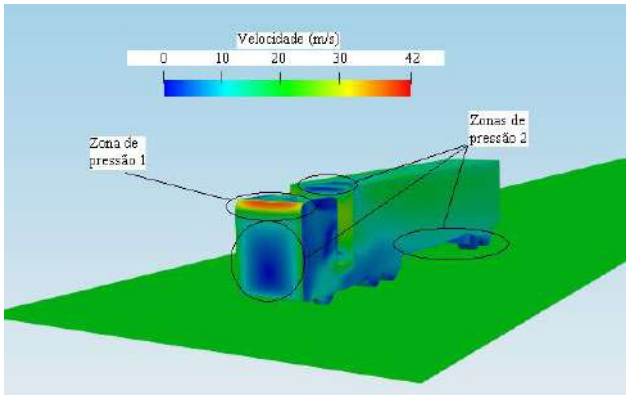



Figura 3. Zonas de pressão região frontal

Com o intuito de melhorar a aerodinâmica nas zonas de concentração de turbulências foram selecionados 2 tipos de defletores, o modelo DEF-1 aplicado na zona inferior entre eixos do caminhão e o modelo DEF-2 aplicado na zona superior e na zona "vazia" entre o caminhão e a carroceria, como é apresentado na Figura 4 pelas regiões avermelhadas.

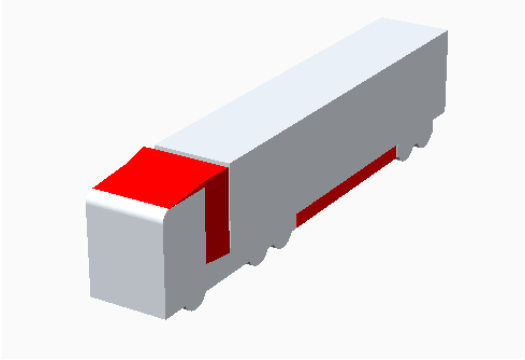


Figura 4. Modelo para representação dos defletores utilizados

Foram então construídos 3 modelos, o primeiro modelo (X1) somente com o defletor DEF-1 instalado denominado X3, um segundo (X4) somente com o defletor DEF-2 instalado e, por fim, um terceiro (X5) com ambos os defletores instalados.

Após a construção dos modelos, o objetivo foi de simular e analisar os coeficientes de arrasto finais de cada um dos modelos, e então selecionar o modelo com o menor coeficiente de arrasto para a sua utilização nas etapas seguintes do trabalho. Todos os modelos assim com o modelo base X2 foram construídos com o auxílio do software OpenSCAD©, devido a maior facilidade de ajustes e também por se tratar de um software aberto.

### 3.2 Modelos base

Após a seleção do modelo com o menor coeficiente de atrito, o mesmo foi utilizado na construção dos casos. Para isso foram feitas modificações no arquivo de execução do modelo selecionado, com o intuito de adicionar o comando surfaceTransformPoints, o qual permite a translação dos pontos de origem do modelo selecionado mantendo o original em seu lugar inicial, ou seja, é feita uma cópia do modelo de caminhão selecionado dentro do domínio virtual do túnel de vento, onde é possível ditar novas coordenadas, sendo elas em x, y ou z para o ponto de origem do segundo modelo. Para a definição dos casos utilizados 1, 2 e 3, foram definidas, respectivamente, as distâncias de 10, 20 e 30 metros no eixo x entre os modelos presentes no domínio virtual, como mostra a Figura 5a, 5b e 5c.

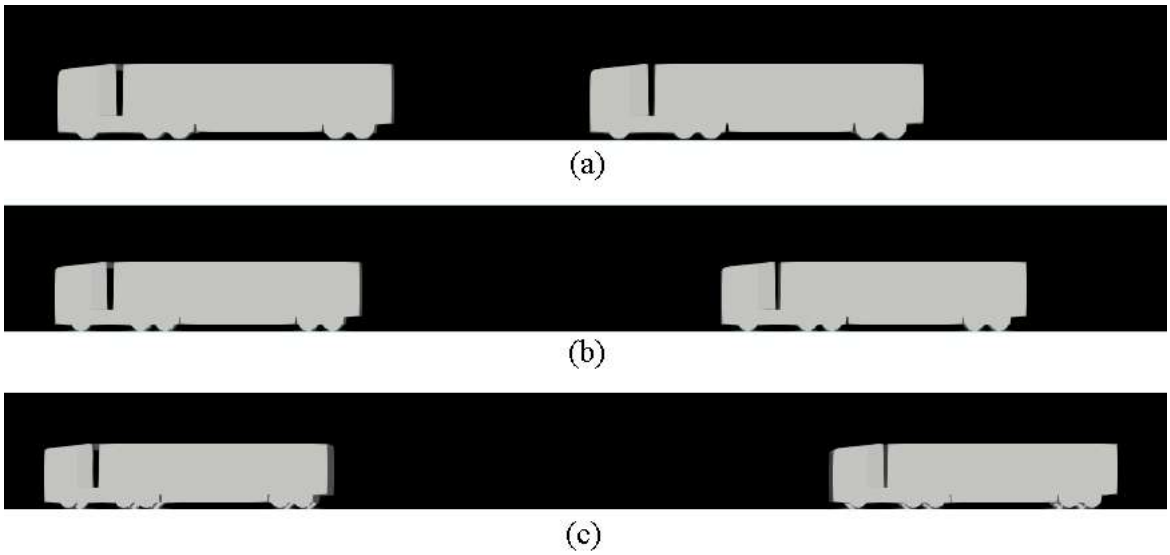



Figura 5. Representação dos modelos dentro do domínio virtual

Os modelos estudados foram modelados de forma bastante simplificada devido à limitação de processamento, tanto na geração da malha, quanto na execução da simulação em si. Além de que, a diferença causada pela falta de detalhes no resultado final não demonstra grande expressão.

### 3.3 Geração da malha

Na fase de definição e geração de malha devido à simplicidade dos modelos utilizados e à utilização de computadores com maiores capacidades operacionais foi possível utilizar a ferramenta snappyHexMesh para a geração da malha, a qual proporciona uma melhor qualidade e um melhor refinamento por utilizar malhas estruturadas. Para inicializar a criação da malha foi utilizado o software OpenFoam©.

Com os modelos 3D já criados, é necessário a criação de um bloco base com uma malha de fundo, esse bloco é essencial para determinar a posição do corpo base e dos domínios de refinamento. Este bloco base será a representação virtual do túnel de vento e do escoamento externo, com uma configuração inicial de malha maior, sendo refinada à medida que se aproxima do corpo com o uso da ferramenta snappyHexMeshDict.

Ao total para os modelos utilizados não se tornou necessária a utilização de mais do que uma região de refinamento, visto que a região aplicada inicialmente produziu um nível de refinamento satisfatório, tornando possível o ajuste das células próximas aos modelos. Um exemplo das malhas geradas é apresentado pela Figura 6.

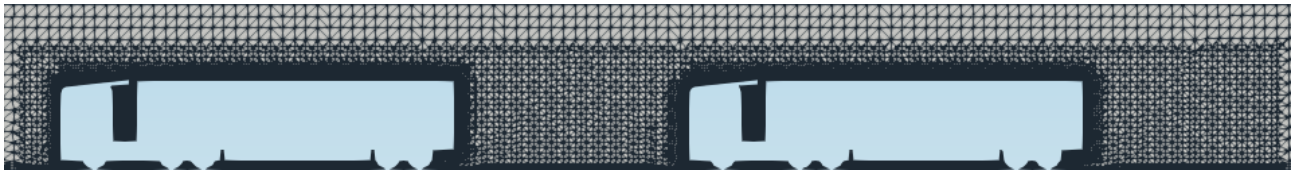


Figura 6. Malha utilizada no primeiro caso

### 3.4 Condições iniciais

A velocidade dos modelos X2 e X3 está de acordo com a velocidade média permitida para um veículo pesado, sendo de aproximadamente 80 km/h, já para os casos, onde se analisa as correntes turbulentas a velocidade varia entre 60 km/h, 80 km/h e 90 km/h. Caracterizando o escoamento como incompressível.

Levando em consideração as propriedades do fluxo acima e o ar sendo um fluido newtoniano, foi escolhido o solver simpleFoam disponível no OpenFoam©, devido a pequena diferença nos resultados finais entre este solver e o pisoFoam, além de disponibilizar uma análise com um menor tempo de processamento, sendo mais rápido em convergir os resultados pelo fato de ser um solver estacionário.

Com o solver escolhido, resta somente a definição das características de turbulência, para então dar início a simulação. Dentre os modelos de turbulência existentes, o modelo RANS diferente dos demais possui suporte para o solver simpleFoam (estacionário), portanto este modelo foi utilizado.

O modelo RANS é largamente utilizado para simulações mais básicas, podendo proporcionar bons resultados, ao mesmo tempo que exige menos capacidade de processamento e uso de memória que outros modelos disponíveis, tornando as simulações mais rápidas, otimizando assim o processo de desenvolvimento do trabalho.

Após selecionar o modelo de turbulência utilizado, seguimos para o próximo passo, a criação dos arquivos de descrição que serão usados pelo OpenFoam©. Começando pelo arquivo initialConditions, localizado dentro da pasta include, situada no diretório 0.orig, onde foi definida a velocidade constante de entrada do escoamento externo, sendo ela igual a 20 m/s nos modelos X3, X4 e X5, já para os casos a velocidade varia entre 17 m/s, 20 m/s e 25 m/s, a pressão com um valor igual a 0 representando a pressão atmosférica, e as constantes de turbulência turbulentKE e turbulentOmega, para os casos que utilizam a velocidade de escoamento igual a 17 m/s são respectivamente 0,16785 e 0,63379, já para os modelos e casos com velocidade de escoamento igual a 20 m/s os valores são 0,22307 e 0,73064, por fim para os casos com velocidade de escoamento igual a 25 m/s os valores são 0,32964 e 0,88818, visto que o comprimento dos modelos não se alteram, as constantes de turbulência variam somente de acordo com a velocidade.

Juntamente aos arquivos citados acima foram criados os arquivos p e U, localizados no diretório 0.orig, o arquivo p representa a pressão no tempo zero de cada superfície e o arquivo U representa a velocidade do sistema. No arquivo p, foram descritas as pressões com a condição zeroGradient, demonstrando um valor fixo e que não sofre influências, mantendo a pressão dos sistemas constantes. No arquivo U, a velocidade foi determinada como um valor fixo na entrada e no chão, dando a entender para o software que a parede que compõe o chão, juntamente aos modelos estão em movimento também. A velocidade de saída é considerada igual à velocidade definida na entrada, já prevendo uma alteração no fluxo de ar devido à presença dos modelos base, representando assim um fluxo de ar constante no interior do túnel de vento.

Em seguida foram feitos os arquivos turbulenceProperties e os arquivos transportProperties, ambos se situam no diretório constant com os objetivos de descrever o modelo de turbulência utilizado e definir a viscosidade cinética do ar igual a 1,5 x 10-5 m2/s, respectivamente.

O próximo arquivo criado foi o boundary, situado dentre da pasta polyMesh, também no diretório constant. Este arquivo tem o objetivo de definir o fluxo do escoamento em relação as superfícies do bloco base criado anteriormente com o uso da ferramenta blockMeshDict, o chão do túnel é classificado como wall, indicando que ele tem influência sobre o escoamento, já as laterais, a entrada e a saída do bloco base são classificados como patch, sendo definida como uma configuração básica que não contém informações geométricas ou topológicas sobre a malha (com exceção da parede).

Por fim foram criados os arquivos controlDict, fvSchemes e fvSolution, presentes no diretório system, estes arquivos possuem a função de definir o modo operante do sistema. O arquivo controlDict tem o objetivo de aplicar as condições de tempo inicial e final da simulação, como endTime inicial foi definido o valor de 5000 nos modelos X3, X4 e X5, o que significa que terão de ser feitas 5000 iterações para estes modelos, com o intuito de melhorar a precisão, porém para os casos esse número foi drasticamente reduzido a 1000, visto que os valores de coeficiente de arrasto e de sustentação já convergiam com 1000 interações, o que resultou em uma boa precisão e um menor tempo de processamento.

O arquivo fvSchemes descreve os modelos de cálculos utilizados na simulação, foram selecionados os modelos padrões do OpenFoam© para escoamentos externos incompressíveis, os quais usam métodos de interpolação de Gauss linear. O arquivo fvSolution representa as tolerâncias de cada variável que irá ser calculada, também foram utilizados valores padrões do OpenFoam©, variando de 10-7 até 10-8.

Para os modelos X3, X4 e X5, a simulação foi concluída após aproximadamente 46 horas e 49 minutos, sendo um tempo relativamente alto se comparado ao tempo utilizado para simular os casos, que foi de aproximadamente 13 horas e 8 minutos para cada caso e que os resultados são da mesma forma precisos e consistentes.

Com a finalização da simulação por meio do comando simpleFoam é possível utilizar os dados gerados para dar início a etapa de pós-processamento, que tem o objetivo de apresentar esses dados de uma maneira mais visual e de fácil compreensão. O pós-processamento foi realizado com a ajuda do software paraView por meio do comando paraFoam.

O software paraView utilizado no pós-processamento permite dentre diversas formas de análise a demonstração visual das zonas de pressão, zonas de velocidade, linhas de corrente que demostram como o fluido escoa ao redor de um corpo ou uma superfície, além da possibilidade de mostrar a formação dos vórtices causados pela turbulência.

Mesmo sendo extremamente versátil o software paraView não disponibiliza uma ferramenta de elaboração de gráficos. Visto que gráficos são importantes elementos visuais que permitem um melhor entendimento dos resultados, foi utilizado o software Gnuplot 5.2 patchlevel 3 para a construção dos mesmos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o término da etapa de pós-processamento os dados obtidos serão apresentados por meio de imagens e gráficos com escalas de cores que facilitam a leitura dos mesmos. Para dar início serão apresentadas e discutidas imagens que demonstrem as zonas de pressão e velocidade, seguidos pela formação dos vórtices de turbulência e pôr fim a formação das linhas de corrente.

### 4.1 Análise e seleção do modelo ideal

As zonas de pressão de cada modelo são apresentadas pela Figura 7a, 7b e 7c, sendo respectivamente os modelos X3, X4 e X5. As escalas de cores são utilizadas com o intuito de destacar as áreas de maior interesse, sendo assim a cor vermelha representa as zonas de maior pressão que estão atribuídas ao corpo, em contrapartida a cor azul representa as zonas de menor pressão.

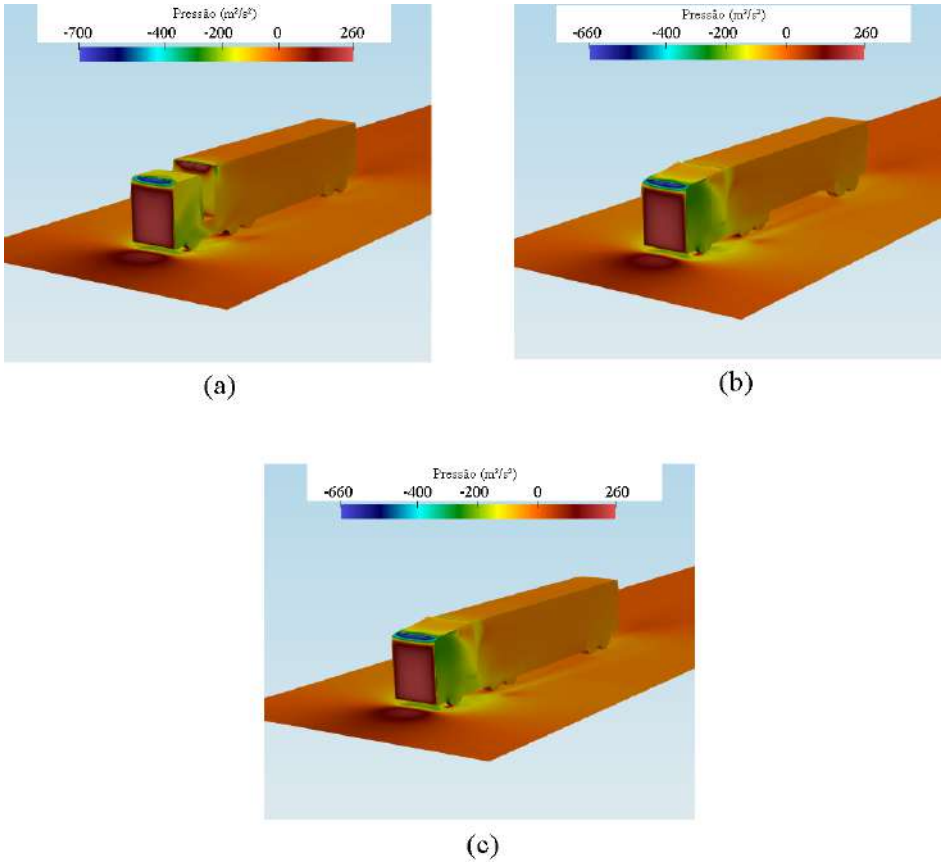



Figura 7. Zonas de pressão modelos X3, X4 e X5

É possível observar ao se comparar as figuras que o modelo de defletor DEF-2, que é o defletor aplicado na região superior e entre o caminhão e a carroceria, possui uma maior influência na diminuição das pressões aplicadas na sua

região de atuação, quando comparado ao modelo de defletor DEF-1, pois em sua ausência nota-se visivelmente uma área mais avermelhada, o que prejudica o escoamento reduzindo performance. Podemos também afirmar que a utilização do modelo de defletor DEF-1 não apresenta grande influência na redução de zonas de pressão. Apesar de apresentar um coeficiente de arrasto menor que o valor base de 1,41 obtido pelo modelo X2, o valor atingido de 1,3372 pelo modelo X3 não é muito expressivo, além de ser superior aos valores obtidos pelos modelos X4 e X5, portanto o modelo X3 foi eliminado.

O passo seguinte é avaliar qual dos dois modelos restante X4 e X5, possui o melhor coeficiente de arrasto. Comparando as zonas de pressão de ambos os modelos não há uma diferença nítida, sendo assim é necessária a visualização dos valores de coeficiente de arrasto obtidos para cada modelo, sendo eles 1,1148 para o modelo X4, e 1,1052 para o modelo X5. Mesmo que a diferença seja quase nula, o que só confirma a análise anterior do modelo de defletor DEF-1 está correta, os valores obtidos quando comparados ao do modelo X2 de 1,41 apresentam uma drástica redução no coeficiente de arrasto. Porém o modelo com o menor coeficiente de arrasto deve ser selecionado, por isso o modelo X5, que possui os dois defletores instalados, é o modelo escolhido.

Para apoiar a decisão de utilizar menos iterações na obtenção do resultado final é apresentado na Figura 8, que demonstra claramente a estabilização dos valores de coeficiente de arrasto do modelo selecionado por volta de 500 iterações, por isso para as simulações seguintes o número de iterações foi reduzido a 1000.

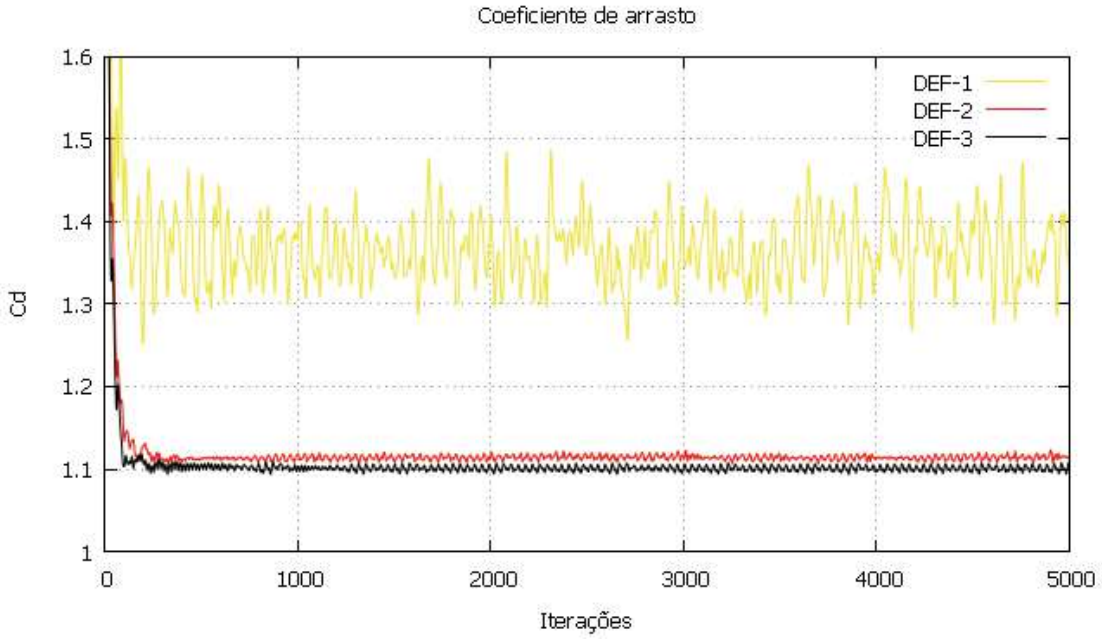



Figura 8. Coeficientes de arrasto para os modelos X3, X4 e X5

### 4.2 Coeficiente de arrasto

Partindo dos resultados gerados pelas simulações de cada caso e suas variáveis, foi possível obter valores de coeficiente de arrasto (Cd) bastante esclarecedores e condizentes com as análises realizadas anteriormente, para analisar e discutir estes resultados foi construída a Tabela 1, que apresenta os valores de Cd obtidos para o primeiro caminhão e a tabela 2, que apresenta os valores de Cd obtidos para o segundo caminhão.

Tabela 1. Valores de coeficiente de arrasto obtidos de cada caso para o primeiro caminhão

| Distância (m) | Velocidade (m/s) | | |
|---|---|---|---|
| | 17 | 20 | 25 |
| 10 | 0.7836 | 1.0828 | 1.6898 |
| 20 | 0.8103 | 1.1202 | 1.7473 |
| 30 | 0.8167 | 1.1303 | 1.7609 |

Tabela 2. Valores de coeficiente de arrasto obtidos de cada caso para o segundo caminhão

| Distância (m) | Velocidade (m/s) | | |
|---|---|---|---|
| | 17 | 20 | 25 |
| 10 | 0.4565 | 0.6319 | 0.9865 |
| 20 | 0.4934 | 0.6854 | 1.0663 |
| 30 | 0.5218 | 0.7225 | 1.1325 |

Comparando os coeficientes de arrasto obtidos nas simulações nos casos analisados, nota-se que a diferença entre eles é pequena. O aumento da velocidade dos caminhões provocou uma maior perturbação no escoamento, pois ocasionou uma maior incidência do mesmo sobre a superfície do caminhão, a qual acabou por diminuir a velocidade do escoamento sob o primeiro caminhão, o mesmo não se repete no segundo caminhão, isso pode ser confirmado com o aumento gradativo e diretamente proporcional dos coeficientes de arrasto, em relação à velocidade dos caminhões, esses aumentos são testemunhados tanto do primeiro caminhão, quanto do segundo.

Já se referindo à influência da distância sobre o segundo caminhão, nota-se que à medida que a distância aumenta, o coeficiente de arrasto também sofre um acréscimo, apesar de pequena, essa diferença é significativa e demonstra que quanto menor a distância entre os caminhões, mais benéfico será em questões aerodinâmicas, sendo assim é possível atingir valores de Cd razoavelmente baixos.

Vale à pena ressaltar que a existência de dois veículos de mesmo porte trafegando em um mesmo sentido, dependendo da distância, acaba por prejudicar a aerodinâmica do primeiro caminhão como apresentados pelos casos onde a distância entre veículos é de 20 metros e de 30 metros, considerando o valor inicial do Cd para o modelo selecionado igual a 1,1052.

No final foi constatado que a melhor situação, ou seja, uma melhor performance em questão aerodinâmica evolvendo dois caminhões de mesmo porte e a mesma velocidade, seria a de menor distância permitida entre veículos, seguida de uma velocidade na faixa de 60 km/h a 80 km/h, onde não há interferência na aerodinâmica do primeiro caminhão e há um aumento na performance aerodinâmica do segundo caminhão.

## 5. CONCLUSÃO

Com a definição, construção e análise do modelo base X2 já desenvolvidas, seguiu-se para a construção de modelos 3D dos defletores que pudessem ser aplicados nas zonas de maior importância definidas na primeira etapa deste trabalho. O próximo passo foi o de verificar qual conjunto de defletores proporcionaria a melhor performance aerodinâmica, para então analisar o fluxo de escoamento sob um outro caminhão posicionado a uma distância variável do primeiro, trafegando em mesmo sentido e a mesma velocidade atribuída ao primeiro caminhão.

As malhas geradas foram escolhidas com o intuito de atender às necessidades do escoamento tanto para os modelos com defletores, quanto para os casos, possuindo um bom refinamento para gerar resultados confiáveis, assim como para o modelo base X2, seguido da escolha do modelo de turbulência ideal para realizar a simulação com um solver que se encaixasse nas características definidas para o escoamento.

Com o término da simulação foram obtidos valores do coeficiente de arrasto (CD), para os conjuntos de defletores utilizados e então comparados com o valor de Cd encontrado pelo modelo base X2, como fora proposto, com o intuito de verificar as melhorias aerodinâmicas propostas, o que resultou em uma redução inicial de 3% para o modelo X3, seguida de 20% para o modelo X4, chegando até a 22% para o modelo X5, em relação ao valor de Cd encontrado no modelo base X2. Seguindo para a seleção do modelo com menor Cd, para ser utilizado nos casos dando início as simulações envolvendo mais de um caminhão. Foi possível verificar diversas situações, as quais envolvem variações de distância entre caminhões e de velocidades de escoamento, com isso pode-se identificar uma situação em que houvesse um aumento de performance no segundo caminhão sem prejudicar a performance no primeiro caminhão, resultando em uma melhor condição geral do escoamento.

A realização deste trabalho proporcionou conhecimentos básicos sobre arrasto, aerodinâmica veicular e CFD, proporcionando dados interessantes sobre a influência de simples defletores no Cd de um modelo básico de caminhão, além de demonstrar clara e objetivamente as alterações de fluxo e performance causadas em um escoamento quando o mesmo possui um obstáculo (sendo ele um caminhão posicionado a frente de outro, por exemplo). Por fim os objetivos propostos neste trabalho foram atendidos em sua totalidade.

## 6. REFERÊNCIAS

Çengel, Y. A.; Cimbala, J. M. Fluid mechanics fundamentals and applicattions. 3. ed. New York: McGraw-Hill Global Education Holdings, LLC, 2012.

Gaylard, Adrian. The Appropriate Use of CFD in the Automotive Design Process. 10.4271/2009-01-1162, 2009.

Harun, C ; Hazim, M ; Abdulkadir, A ; Iftekhar, K ; Firoz, A ; Simon, W. A Study on Aerodynamic Drag of a Semi-trailer Truck. Procedia Engineering. 56. 201–205. 10.1016/j.proeng.2013.03.108, 2013.

Hucho, W. H. Aerodynamics of road vehicles - a challenge for computational fluid dynamics. European Automotive CFD Conference. Bingen. 2003.

Sayma, A. Computacional fluid dynamics. 1. ed. Abdulnasser: Sayma and Ventus Publishing Aps, 2009.

Silveira, A. N. Fundamentos da turbulência nos fluídos. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 52. 2002.

Wilcox, C. D. Turbulence modeling for CFD. 3. ed. La Canada: DCW Industries, 2006.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O (s) autor (es) é (são) o (s) único (s) responsável (is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULOS DAS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE GASES PERFEITOS E MISTURAS DE GASES PERFEITOS

**Guilherme Kappaun**
**Luís Edson Saraiva**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
148069@upf.br; saraiva@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo.*** *O conhecimento de valores de propriedades termodinâmicas de um sem número de substâncias é de fundamental importância em ramos industriais como refrigeração, condicionamento de ar, conforto térmico, geração, utilização e distribuição de vapor, processamento de alimentos, gases industriais, processos químicos diversos, etc. Um gás perfeito é aquele que apresenta comportamento idealizado, ajudando assim nos cálculos e que, em inúmeras situações práticas, gera resultados extremamente confiáveis. Este trabalho se propõe a desenvolver um programa computacional para calcular as propriedades termodinâmicas de gases perfeitos e misturas de gases perfeitos, que possam ser utilizados em cálculos de sistemas térmicos. O programa computacional será desenvolvido através de um software, o qual irá realizar a leitura através de um algoritmo computacional. Para o funcionamento do programa o usuário definirá dados de entrada, com base nas equações e nas propriedades termodinâmicas que seja de seu interesse, para que se torne possível determinar assim uma resolução do problema proposto. Para implementação do programa o software que será utilizado é o SciLab-6.0.2, onde o mesmo será desenvolvido. Os dados que foram obtidos podem ser comparados com dados empíricos presentes em tabelas termodinâmicas e/ou equações próprias dos gases, para que se possa validar o programa.*

***Palavras Chave:*** *Equação Geral dos Gases; Propriedades Termodinâmicas; Equações de Estado.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em termodinâmica estudam-se as variações que um sistema pode sofrer. Estas variações podem ocorrer tanto com o meio externo ou não. Quando uma fonte energética é aplicada no sistema, pode-se dizer que as propriedades termodinâmicas presentes no mesmo como: temperatura, pressão, volume específico, energia interna, entalpia, etc.; acabam sofrendo alterações e na maioria das vezes mudando as características físicas do sistema. Então torna-se necessário a realização destes cálculos.

A aplicação de cálculos utilizando propriedades termodinâmicas sempre está presente de alguma forma na área de termofluidos na engenharia. Estas propriedades podem ou não depender uma da outra.

No ramo industrial atualmente as propriedades termodinâmicas estão presentes em várias áreas como: refrigeração industrial, sistemas de refrigeração, distribuição e geração de vapor, condicionadores de ar, trocadores de calor, turbinas, bombas, etc.

O objetivo deste trabalho é a elaboração de um programa computacional para realizar o cálculo das propriedades termodinâmicas. É desejável que o programa seja simples e seu layout de fácil entendimento, para que qualquer pessoa, seja ela entendedora no assunto ou não, consiga entender o processo na realização de uma simples equação de estado, mas que se tratada com certos artifícios matemáticos e computacionais a torna de suma importância para a solução de problemas cotidianos.

O trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um programa computacional para a realização de cálculos automatizados dos gases perfeitos e também de suas misturas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir apresenta-se uma breve revisão sobre os temas relacionados ao assunto, tendo como base materiais existentes na literatura.

## 2.1 Propriedades Termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas são características macroscópicas de um sistema (pressão, volume, massa e temperatura), onde as mesmas podem ser definidas através de valores medidos ou podem ser determinadas por meio de cálculos. Podem ser divididas como propriedades termodinâmicas extensivas e intensivas, onde a primeira se relaciona as propriedades que dependem da massa do sistema, e as intensivas não (SARAIVA, 2011).

Para a elaboração do trabalho serão utilizadas algumas das principais propriedades termodinâmicas, como: pressão, temperatura, volume específico, energia interna específica, entalpia específica, entropia específica e calores específicos. Os quais serão de grande importância para elaboração e desenvolvimento do trabalho.

## 2.2 Gás Perfeito e equação de estado

Equações que relacionam pressão, temperatura e volume específico de determinadas substâncias são chamadas de equações de estado, ou seja, são equações que descrevem o estado da matéria em determinados conjuntos de condições físicas. Uma das equações mais simples e uma das mais conhecidas é a equação do gás ideal, também conhecido como equação dos Gases Perfeitos (ÇENGEL e BOLES, 2013). A Figura 1, mostra o diagrama P-v-T o qual um gás perfeito se comportará como uma substância pura.

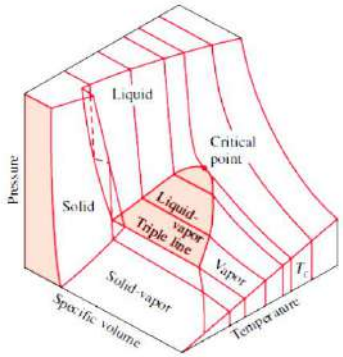



Figura 1.Superfície P-v-T
Fonte: (MORAN, SHAPIRO, *et al.*, 2003).

Em certas condições foram determinadas equações com auxílio de experimentos empíricos que quando combinadas foram essenciais para o surgimento da equação dos gases perfeitos.

Um destes experimentos foi realizado pelo inglês Robert Boyle (1627-1691), que desenvolveu em 1662 experimentalmente a hoje chamada lei de Boyle. Esta afirma que a pressão, p, de um determinado gás é inversamente proporcional ao volume do gás, V, que é ocupado a uma temperatura constante, expressada pela Equação 1. Onde $C_1$, depende da temperatura e massa do gás (baixa pressão e alta temperatura). Anos mais tarde foi a vez do francês Jacques Charles (1746-1823), que em 1802 avaliou através de experimentos à baixa pressão e alta temperatura, que a pressão, p, de um gás depende linearmente de sua temperatura, onde a mesma é medida na escala absoluta, T. A lei de Charles é representada pela Equação 2, onde a constante representada pela letra $C_2$, depende do volume e da massa do gás (WHALLEY, 1992).

$$pV = C_1 \tag{1}$$

e,

$$\frac{p}{T} = C_2 \tag{2}$$

A lei de Boyle e de Charles, respectivamente Equações 1 e 2, podem ser combinadas em uma única equação:

$$\frac{pV}{T} = C \tag{3}$$

Reescrevendo a Equação 3, e substituindo a letra C pela constante universal dos gases Ru, obtemos a seguinte equação:

$$\frac{pV}{T} = R_u \tag{4}$$

ou,

$$pV = nR_uT \quad (5)$$

Em nível microscópico para um gás ser considerado perfeito é quando as interações moleculares podem ser desprezadas. Isto ocorre quando as moléculas são separadas a uma distância a qual o ponto de interação entre elas pode ser desprezado, assim como pressões muito baixas, onde sua concentração de moléculas por volume é relativamente baixa (PARANHOS, 2014).

A constante Ru como vista anteriormente, chamada de constante universal dos gases é usada para todos os tipos de substâncias, cujo valor é:

$$R_u = 8{,}3145\,\frac{N.m}{(mol.K)} \quad (6)$$

Na Equação 5, n representa o número de mols que está presente em um gás perfeito. Esta unidade de medida é muito utilizada na termodinâmica, e auxilia a expressar massa, volume, número de átomos ou moléculas de uma substância. Um mol corresponde a 6,02214076x$10^{23}$ entidades elementares (MARQUARDT, MEIJA, et al., 2018).

A Equação 5, pode ser ainda utilizada para determinar outras relações entre as propriedades termodinâmicas de um gás perfeito. Modelando matematicamente a mesma, é possível deixá-la de uma forma mais simples, reescrevendo-a como:

$$pv = RT \quad (7)$$

Onde:
p = pressão em (kPa);
v = volume específico ($m^3$/kg);
R = constante do gás (kJ/kgK);
T = temperatura absoluta (K).

### 2.3 Mistura de Gases

Na engenharia existem muitos problemas relacionados à mistura de gases. Na maioria das vezes os gases que temos contato em nosso cotidiano não são gases isolados e sim uma mistura de gases. O ar que respiramos, é uma mistura de muitos gases, pois o mesmo apresenta: oxigênio, nitrogênio e alguns gases inertes que compõe o ar atmosférico. (WINTERBONE, 1997).

As propriedades de uma mistura de gases dependem, exclusivamente das propriedades individuais de cada gás, assim se torna possível determiná-las de maneira mais simples.

### 2.4 Mistura de Gases Perfeitos

O gás perfeito é definido como um gás que apresenta suas moléculas bem distribuídas, para que assim as mesmas não acabem se influenciando pela presença de outras ou semelhantes. Em uma mistura de gases perfeitos este mesmo processo acaba ocorrendo devido a essa singularidade dos gases perfeitos. Então quando uma mistura se apresenta de forma não reativa, consideramos a mesma como sendo um gás perfeito. O comportamento de um gás perfeito segue a sua equação de estado, Equação 5. Para uma mistura de gases perfeitos existem dois modelos que satisfazem na idealização de uma mistura. São eles: modelo de Dalton o qual relaciona as pressões dos componentes da mistura, e o modelo de Amagat que relaciona os volumes de todos os componentes de uma mistura (MORAN e SHAPIRO, 2009).

O modelo de Dalton é coerente com o conceito de gás perfeito, o qual apresenta moléculas que exercem forças que atuam de maneira desprezível, e o volume ocupado por elas é insignificante em relação ao volume total ocupado pelo gás. Se não existir forças entre as moléculas, conclui-se que o comportamento de cada componente da mistura não será afetado pela presença de outros. Se os volumes destas moléculas representarem uma fração pequena do volume total, as moléculas conseguem transitar de maneira livre por todo o volume (MORAN e SHAPIRO, 2009).

Outra determinação deste modelo sugere que, as propriedades dos componentes de uma mistura sejam analisadas de modo que sejam individuais e independentes, ocupando assim todo o volume na temperatura que foi determinada a mistura. A especificação do modelo de Dalton diz que a pressão da mistura de gases vai ser igual ao somatório das pressões parciais de cada componente (ÇENGEL e BOLES, 2013).

A pressão parcial pode ser relacionada por meio da equação de estado dos gases perfeitos:

$$p_i = \frac{n_iRT}{V} \quad (8)$$

Onde:
$p_i$ = pressão parcial do componente da mistura;

$n_i$ = número de mols do componente da mistura.

A Equação 9, representa o somatório de pressões parciais dos componentes, para determinar a pressão total da mistura pelo modelo de Dalton.

$$p = \sum_{i=1}^{j} p_i \tag{9}$$

O modelo de Amagat é o conceito de que o volume total em uma mistura de gases perfeitos vai ser exatamente igual ao volume de cada um dos seus componentes, analisando-os de maneira individual à uma pressão e temperatura. Este volume é chamado de volume parcial, e vai ser o somatório dos volumes parciais que vai definir o volume total da mistura (MORAN e SHAPIRO, 2009).

Para estimar o valor do volume parcial, utiliza-se a equação de estado do gás perfeito:

$$V_i = \frac{n_i RT}{p} \tag{10}$$

Onde:

$V_i$ = volume parcial do componente da mistura;
$n_i$ = número de mols do componente da mistura.

A Equação 11, representa que o somatório de todos os volumes parciais que será igual ao volume total da mistura, determinado pelo modelo de Amagat.

$$V = \sum_{i=1}^{j} V_i \tag{11}$$

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia consiste em elaborar um programa para calcular as propriedades de um gás perfeito e/ou mistura de gases perfeitos utilizando equações de estado para obtenção das mesmas, bem como outras relações termodinâmicas.

Com o embasamento teórico visto na revisão bibliográfica, buscou-se uma linguagem computacional e seu respectivo compilador que fosse compatível para realização do programa. Buscou-se um de fácil utilização, simplicidade e acessível, para que o programador consiga de forma clara e sucinta realizar o programa, transmitindo isso ao usuário. Para elaboração do programa o ambiente computacional escolhido foi o SciLab versão 6.0.2.

Por ser uma equação de estado particularmente simples, a equação dos gases perfeitos combinada com equações fundamentais da termodinâmica, dá origem a um número reduzido e simples de equações que, uma vez resolvidas, geram os valores das propriedades termodinâmicas. O programa a ser desenvolvido deverá abranger as soluções para as propriedades dos gases e mistura de gases perfeitos que, a partir de uma tabela com algumas constantes fundamentais e características de cada gás (como exemplo a constante R do gás, as constantes para determinação de cp, etc.), e com a solução das equações já mencionadas no presente trabalho, retorne os valores de quaisquer propriedades. O programa deverá partir de dois dados de entrada definidos pelo usuário, para que assim seja possível determinar os resultados.

Primeiramente o mesmo foi elaborado de maneira manuscrita, isto é, fora da linguagem computacional o qual resultou em um fluxograma que explicará detalhadamente como será o passo a passo utilizado no desenvolvimento do programa, e como o mesmo funcionará. Após a elaboração do fluxograma, será desenvolvido um algoritmo que servirá como base para a criação do programa, onde o mesmo irá ler as variáveis de entrada que serão escolhidas pelo usuário e determinar assim os resultados.

### 3.1 Algoritmos

Para que seja possível determinar o funcionamento de um programa computacional, deve-se definir parâmetros entrada, os quais são inseridos inicialmente e também definir o que se espera que se determine na saída do programa, ou seja, quais resultados espera-se obter com os dados iniciais inseridos. Para que isso ocorra deverá haver no meio da elaboração do programa uma etapa em que seja possível processar os dados de entrada e transformar em informações na saída. Para isso poderiam ser usados algoritmos para auxiliar neste processamento de dados, conforme o esquema mostrado na Figura 2.

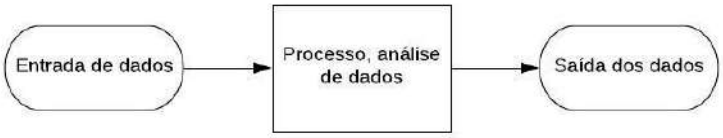



Figura 2. Estrutura de processamento de dados

A criação de um algoritmo poderá ser feita de maneira teórica e após realizada esta etapa pode se fazer um fluxograma para elaboração do programa, para auxiliar e facilitar a criação do mesmo deixando-o de forma mais clara e organizada.

O fluxograma que foi utilizado para criação e entendimento do programa pode ser visto através da Figura 3. Nele tem-se uma ideia básica de como foi elaborado e organizado o algoritmo para criação do programa.

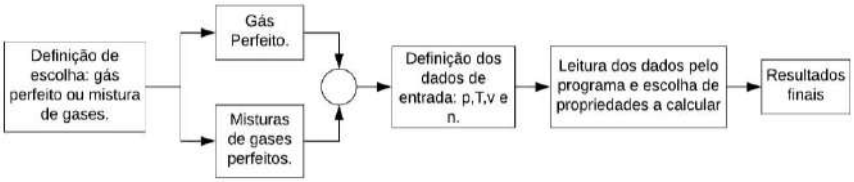



Figura 3. Fluxograma utilizado para o desenvolvimento do programa

### 3.2 Leitura das Variáveis

Para o programa ser iniciado, deve-se primeiramente fazer com que o mesmo leia todas as variáveis de entrada, também chamadas de propriedades que são: pressão, temperatura, volume específico e número de mols, este apenas utilizado para misturas de gases. Estas variáveis serão inseridas pelo usuário, onde a obtenção das mesmas será feita a partir da equação dos gases perfeitos, ou seja, a equação presente no programa será trabalhada matematicamente.

### 3.3 Programação

Para obter uma solução das equações presentes vistas na revisão bibliográfica do presente trabalho, é necessário se fazer um algoritmo para poder incorporar estas equações no programa a ser elaborado. A programação foi desenvolvida, com auxílio do software SciLab. O motivo desta escolha e não outra é por ser de livre distribuição e apresentar uma vasta opção de comandos e operações que foram de grande importância para o desenvolvimento do trabalho. O algoritmo é implementado no ambiente computacional numérico do software, em um editor de texto chamado SciNotes, ver Figura 4, presente no próprio software.




Figura 4. Layout, editor de textos

Nele será possível realizar os parâmetros que estão presentes no programa, como: operações envolvendo operadores lógicos, operadores relacionais, estruturas de repetições, decisões (if-then-else), comandos de entrada e saída de dados e comandos de múltipla escolha (select-case).

O programa tem como base de resolução a Equação geral do gás perfeito e as Equações referentes a mistura de gases.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do desenvolvimento obtido na revisão bibliográfica e da metodologia a ser aplicada no desenvolvimento do presente trabalho, pode-se chegar a resultados em relação ao tema abordado. Por intermédio da implementação do algoritmo e feita sua leitura de programação, obtive um programa que foi capaz de calcular algumas propriedades

termodinâmicas para gases e mistura de gases perfeitos. A seguir, serão listados alguns resultados obtidos na programação, bem como a validação dos mesmos.

A Figura 5, apresenta a interface inicial do programa, listando ao usuário os diferentes gases que o mesmo poderá escolher para que assim possa se definir o que deverá ser inserido como dados de entrada, para efetivar a realização do cálculo de suas propriedades.

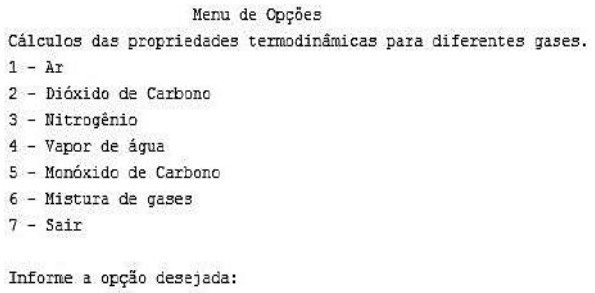



Figura 5. Interface do programa

### 4.1 Cálculo para o dióxido de carbono

Para demonstração do programa, escolheu-se no menu a "opção 2 – Dióxido de Carbono", e determinou-se que seria calculado o volume específico para este gás. Os dados de entrada inseridos pelo usuário foram a pressão e a temperatura, com valores respectivamente de, 100 kPa e 75ºC. A Figura 6 mostra o layout de resposta do problema, bem como apresentará opções: voltar ao menu de escolha ou realizar outro cálculo.

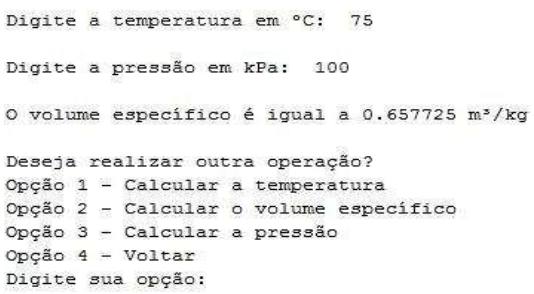



Figura 6. Cálculo do volume específico para o dióxido de carborno

Para ocorrer a validação do programa e o mesmo seja válido para o cálculo do volume específico, é necessário utilizar a Equação dos gases perfeitos, e colocar em evidência o volume específico da equação como pode-se observar na Figura 7.

$$v = \frac{RT}{p}$$

$$v = \frac{0{,}181892 \text{ x } (273{,}15 + 75)}{100}$$

$$v = 0{,}657725\ m^3/kg$$

Figura 7. Cálculo do volume específico pelo método analítico

Analisando o resultado do programa conclui-se que o mesmo converge com o resultado analítico. Para as outras opções de cálculos segue o mesmo esquema, utilizando a equação dos gases perfeitos para obter a relação para as outras propriedades.

### 4.2 Resultado do programa para mistura de gases

Para esta demonstração serão usados 4 gases. O usuário deverá informar ao programa o número de mols de cada substância presente na mistura, no caso foi utilizado o valor de 22, 14, 18 e 33 mols, e informar ao programa o que deverá ser calculado, no caso a pressão total da mistura, ver Figura 8.

```
Digite o número de gases presente na mistura:  4

Digite o número de mols de cada componente da mistura:  22

Digite o número de mols de cada componente da mistura:  14

Digite o número de mols de cada componente da mistura:  18

Digite o número de mols de cada componente da mistura:  33


Opção 1 - Calcular a pressão total da mistura
Opção 2 - Calcular o volume total da mistura
Opção 3 - Calcular a pressão parcial
Opção 4 - Calcular o volume parcial
Opção 5 - Voltar
Digite sua opção:  1
```

Figura 8. Layout para definição dos dados da mistura

O usuário acaba informando a temperatura e volume presentes na mistura, utilizando 200ºC e 1,55 m³, Figura 9. Lembrando que a temperatura é inserida em graus Celsius, mas o programa faz a conversão para escala absoluta e o valor da constante universal dos gases está inserido na base de dados do programa.

```
Digite a temperatura em °C:  200

Digite o volume em m³:  1.55

A pressão total é igual a 220811.931435 Pa

Opção 1 - Calcular a pressão total da mistura
Opção 2 - Calcular o volume total da mistura
Opção 3 - Calcular a pressão parcial
Opção 4 - Calcular o volume parcial
Opção 5 - Voltar
Digite sua opção:
```

Figura 9. Resultado da pressão total

Para validar o programa deve-se aplicar as Equações (8) e (9), que são respectivamente utilizadas para o cálculo da pressão parcial e total de uma mistura, como pode ser visto na Figura 10.

$$p_1 = \frac{22 \text{ x } 8{,}3145 \text{ x } (273{,}15 + 200)}{1{,}55} = 55837{,}49999\ Pa$$

$$p_2 = \frac{14 \text{ x } 8{,}3145 \text{ x } (273{,}15 + 200)}{1{,}55} = 35532{,}95448\ Pa$$

$$p_3 = \frac{18 \text{ x } 8{,}3145 \text{ x } (273{,}15 + 200)}{1{,}55} = 45685{,}22719\ Pa$$

$$p_4 = \frac{33 \text{ x } 8{,}3145 \text{ x } (273{,}15 + 200)}{1{,}55} = 83756{,}24985\ Pa$$

$$p = \sum p_1 + p_2 + p_3 + p_4$$

$$p = 220811{,}9314\ Pa$$

Figura 10. Cálculo da pressão total pelo método de Dalton, para usar de verificação

## 5. CONCLUSÕES

O estudo sobre gases perfeitos foi de grande importância para o presente trabalho, pois tratando-se de uma equação de estado relativamente simples foi possível transcrevê-la para uma linguagem computacional por meio de um software que atendesse os requisitos para fazer a elaboração do programa para resolver cálculos envolvendo gases e misturas.

A familiarização com o software escolhido para realização do programa foi de suma importância pois buscou-se entender suas ferramentas de trabalho bem como seria o processamento destes dados e como o usuário irá fazer a leitura, sempre priorizando deixá-lo de forma mais clara, para melhor entendimento.

Por fim, foi possível realizar a criação do programa para os cálculos prévios de gases perfeitos e misturas. Ocorrendo assim a verificação se o mesmo era capaz de atender os requisitos e/ou objetivos esperados, e constatou-se satisfatoriamente atingi-los.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. Termodinâmica. Tradução de Paulo Maurício Costa Gomes. 7ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 1018 p. Disponivel em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788580552010/pageid/1032>. Acesso em: 4 Abril 2019.

MARQUARDT, R. et al. Definition of the mole (IUPAC Recommendation 2017). Pure and Applied Chemistry, [S.I.], p. 175-180, 26 Janeiro 2018.

MORAN, M. J. et al. Introduction to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer. New York: John Wiley & Sons, 2003. 557 p.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Princípios de Termodinâmica para Engenharia. Tradução de Gisele Maria Ribeiro Vieira. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 800 p.

PARANHOS, J. F. Método dos Modelos Termodinâmicos Simplificados (MMTS): Uma Abordagem Eficiente para Descrever o Equilíbrio Líquido-Vapor. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 59. 2014.

SARAIVA, L. E. Termodinâmica Macroscópica Essencial. 1ª. ed. Passo Fundo: UPF Editora, 2011. 253 p.

WHALLEY, P. B. Basic Engineering Thermodynamics. New York: Oxford University Press, 1992. 230 p.

WINTERBONE, D. E. Advanced Thermodynamics for Engineers. London: Arnold, 1997. 378 p.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO TÉRMICO DE UM EQUIPAMENTO PARA FABRICAÇÃO DE GELO TUBULAR

**Gustavo Vignochi**
**Luís Edson Saraiva**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
151976@upf.br, saraiva@upf.br, mwalber@upf.br

***Resumo:*** *O presente trabalho busca o desenvolvimento do projeto térmico de um equipamento destinado à fabricação de gelo tubular, tendo como objetivo principal analisar e definir o projeto que melhor atenda às necessidades físicas, energéticas e comerciais. O equipamento utiliza um ciclo de compressão a vapor e é dimensionado para satisfazer uma demanda de 3.000 kg de gelo em 24 horas. Para isso é projetado um sistema de refrigeração associado a um programa de computador (já desenvolvido) para a predição do crescimento da camada de gelo e que define a transferência de calor com mudança de fase utilizando um método entálpico. A partir da comparação e escolha técnica do fluido refrigerante, a seleção dos parâmetros para o dimensionamento dos componentes é efetivada. Simulações do crescimento da camada de gelo, utilizando diferentes configurações dos parâmetros, são realizadas para a otimização do equipamento. Busca-se assim concluir o projeto térmico de um equipamento eficiente, que seja competitivo no mercado e gere um produto dentro dos parâmetros do mercado atual.*

***Palavras chave:*** *Projeto térmico, transferência de calor com mudança de fase, gelo tubular, otimização de equipamentos*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o gelo é um produto intensamente disseminado no mercado em geral, fazendo parte do dia a dia, sendo empregado na conservação e refrigeração de alimentos e no consumo de bebida. Segundo a empresa Mac Total Ice (2019), o mercado de gelo tem aumentado em médio 18% ao ano, o que o torna um produto de grande potencial de comércio.

Ainda conforme a Mac Total Ice (2019), a água representa 2% dos custos de um saco de gelo enquanto os gastos com energia podem chegar a 50%, justificando a constante busca por máquinas de fabricação de gelo com grande eficiência energética e bem dimensionadas fisicamente, que atendam todos os requisitos ambientais e sanitários.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver o projeto térmico de um equipamento para a produção de gelo tubular otimizando parâmetros físicos, energéticos e comerciais, sendo projetado um sistema de refrigeração associado ao *software* desenvolvido por Simionato e Saraiva (2017) para a predição do crescimento da camada de gelo. O programa baseia-se em um modelo físico-matemático que utiliza o método entálpico de Cao et. al (1989) para a transferência de calor com mudança de fase.

Primeiramente é preciso entender o sistema de refrigeração formado por um ciclo de refrigeração por compressão de vapor, constituído por evaporador, compressor, condensador, válvula de expansão e fluido refrigerante que serão dimensionados e detalhados.

Posteriormente é estudado o método de formação do gelo que ocorre devido ao escoamento do fluido refrigerante nos tubos do evaporador vertical, congelando a água que escoa na superfície oposta dos tubos. O descongelamento do gelo ocorre com um sistema de ar quente que ao escoar pelos tubos derrete uma pequena camada de gelo possibilitando que o restante do gelo tubular se desprenda do tubo para então ser cortado e o ciclo então ser concluído.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo é mostrada a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto térmico do equipamento para produção de gelo tubular. Ainda, são apresentados os métodos de dimensionamento e seleção dos componentes.

A Figura 1 mostra as abreveaturas e símbolos utilizados na formulação.

**Abreviaturas**
Ac = Área convectiva [m²]
At = Área transversal [m²]
P = Perímetro [m]
e = Espessura [m]
d = Diâmetro [m]
T = Temperatura
V = Volume [m³]
m = Massa [kg]
L = Comprimento [m]
ρ = Peso específico [kg/m³]
v = Volume específico [m3/kg]
t = Tempo [s]
q = Fluxo térmico [kW]
ṁ = Vazão mássica [kg/s]

Q = Vazão volumétrica [m³/s]
α = Difusividade térmica [m²/s]
k = Condutibilidade térmica [W/m K]
μ = Viscosidade dinâmica [Pa s]
*f* = Fator de fricção
Nu = Número de Nusselt
Pr = Número de Prandtl
Re = Número de Reynolds
E = entalpia [kJ/kg]
h = Coeficiente convectivo [W/m² K]
U = Coeficiente global de troca térmica
MLDT = Média logaritmica das diferenças de temperatura
Cp = Calor específico [J/kg K]
λ = Calor latente [kJ/kg]

υ = Velocidade [m/s]
W = Trabalho [kJ/kg]
RC = Taxa de calor retirado [kJ/kg]
ER = Efeito de refrigeração [kJ/kg]
COP = Coeficiente de performance
P.R. = Potência de refrigeração
C = Capacidade de refrigeração [kW]
Pot = Potência [kW]
Es = Fator geométrico da convecção forçada em escoamento externo
c = Fator da correlação de Zukauskas
n = Fator da correlação de Zukauskas

**Subscritos**
r = Refrigerante
ev = Evaporador
co = Condensador
comp = Compressor
a = Água
g = Gelo
w = Parede
e = Entrada
S = Saída
tcond = Total do condensador
res = Resfriamento
sub = Sub-resfriamento
cond = Condensação
max = máximo

Figura 1. Abreviaturas e símbolos

## 2.1 Temperaturas e pontos de operação

Primeiramente é preciso definir as temperaturas e pontos nos quais o fluido refrigerante deve passar para realizar o efeito de refrigeração esperado. A Figura 2 mostra um fluxograma com os componentes do equipamento e os pontos de operação do sistema. As escolhas das temperaturas de operação são justificadas a seguir.

A temperatura de operação do condensador, depende da temperatura do ambiente de trabalho, que, segundo a Norma Regulamentadora NR17 (2009) é de aproximadamente 23°C. Sendo assim, foi selecionada a temperatura do condensador de 30°C. Para garantir o funcionamento correto da válvula de expansão e melhorar o efeito de refrigeração o fluido deve ser sub-resfriado e, segundo Wang (2000), para um condensador de carcaça e tubo essa variação de temperatura deve ser de 1 a 5 °C. Sendo assim, o refrigerante deve sair do condensador com temperatura de 25°C definindo o ponto 03.

Inicialmente nesse estudo foi adotada para o processo de evaporação uma temperatura do evaporador de -10°C, ponto 4, e para não ocorrer problemas no compressor o fluido é superaquecido, saindo do evaporador com temperatura de -5°C, ponto 1. Após sofrer compressão, a temperatura se eleva a aproximadamento 65° gerando o ponto 2. Contudo, visando a optimização do equipamento, esses valores podem mudar conforme os resultados obtidos pelo *software*.

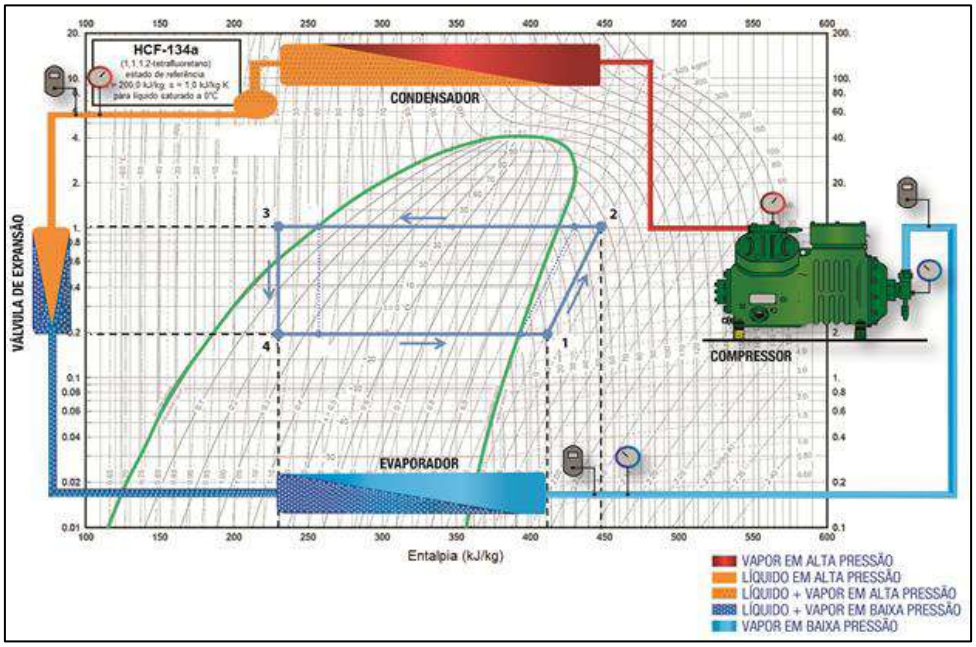



Figura 2. Fluxograma dos componentes e pontos de operação do projeto

## 2.2 Fluido refrigerante

Para comparar e escolher o fluido refrigerante que melhor atenda às necessidades do projeto, são analisadas as propriedades e características termodinâmicas dentro das condições de operação.

As características termodinâmicas, propriedades de segurança e operação são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Características gerais dos fluidos refrigerantes analisados

| Refrigerantes | ODP | GWP | Classificação de segurança | Inflamável | Toxidade | Pressão de Condensação [kPa] | Pressão de evaporação [kPa] | Pressão Crítica [kPa] | Temp. Máx. de operação [°C] | Temp. Crítica [°C] | COP | Óleo Lubrificante |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R22 | 0,05 | 8100 | A1 | Não | Baixa | 1191,9 | 354,3 | 4974 | 55,381 | 96 | 5,634 | MO/AB |
| R134A | 0 | 1300 | A1 | Não | Baixa | 770,1 | 200,7 | 4067 | 39,836 | 101,1 | 5,672 | POE |
| R717 | 0 | 0 | B1 | Não | Alta | 1166,9 | 290,8 | 11417 | 94,781 | 133 | 5,644 | MO/PAO |
| R404A | 0 | 3922 | A1 | Não | Baixa | 1416 | 433,3 | 3731 | 38,58 | 72,07 | 5,291 | POE |
| R407C | 0 | 1774 | A1 | Não | Baixa | 1155,7 | 314 | 4620 | 46,46 | 86,74 | 5,558 | POE |
| R410A | 0 | 2088 | A1 | Não | Baixa | 1869,8 | 575,9 | 4926 | 54,463 | 72,13 | 5,389 | POE |

A Tabela 2 mostra as propriedades de transporte do líquido saturado na temperatura de -10°C dos fluidos refrigerantes. A escolha do fluído refrigerante é justificada no capítulo de resultados e discussões.

Tabela 2. Propriedades de transporte dos fluidos refrigerantes na temperatura de -10°C

| Refrigerante | k(mW/m K) | μ (μPa s) | α ($cm^2/s$) |
|---|---|---|---|
| R22 | 96,994 | 241,063 | 0,000660 |
| R134A | 96,491 | 241,063 | 0,000553 |
| R404A | 76,993 | 204,400 | 0,000481 |
| R407C | 96,291 | 236,197 | 0,000550 |
| R410A | 108,925 | 182,603 | 0,000611 |

### 2.3 Dimensionamento do evaporador

No presente trabalho será discutido o uso de um evaporador com formação de gelo tipo tubo externo e seu dimensionamento é feito com o auxílio do software desenvolvido por Simionato e Saraiva (2017). Devido à complexidade da troca de calor com mudança de fase, alguns parâmetros como coeficiente convective são calculados e atualizados pelo próprio *software*.

O coeficiente de transferência de calor é determinado pela equação (1).

$$h_r = \frac{Nu_r\, k_r}{d_{ev}} \tag{1}$$

Para o cálculo do número de Nusselt foi utilizada a correlação de Petukhov descrita por Holman (1983) e mostrada na equação (2).

$$Nu_r = \frac{\frac{f}{8} Re_r Pr_r}{1{,}07+12{,}7\sqrt{\frac{f}{8}}\left(Pr_r^{\,0{,}666}-1\right)} \left(\frac{\mu_r}{\mu_w}\right)^n \tag{2}$$

Para a determinação da capacidade de refrigeração do projeto, foi utilizado o *software* de Simionato e Saraiva (2017), que faz o cálculo da fronteira de solidificação e da convecção forçada no evaporador com mudança de fase.

Os dados de entrada desse *software*, incluem as propriedades do material de mudança de fase, as condições de projeto, as propriedades do fluido refrigerante indicadas, o calor específico e a densidade do refrigerante no primeiro segmento do trocador de calor e a uma velocidade de escoamento do refrigerante que é estipulada inicialmente levando em consideração os equipamentos presentes no mercado.

### 2.4 Seleção do Compressor

O compressor é selecionado com base na capacidade de refrigeração (C) e nos pontos de operação calculado. Outros parâmetros operacionais também devem ser respeitados, como ser compatível com o fluido refrigerante, não produzir ruído, ter dimensões proporcionais com o restante do equipamento e ter uma boa eficiência.

Para fazer a seleção do compressor foi utilizado o *software* da Bitzer (2018) no qual esses foram utilizados para comparar os compressores de diferentes modelos do tipo alternativo e parafuso. A seleção do compressor é realizada no capítulo de resultados e discussões.

### 2.5 Dimensionamento do Condensador

O condensador analisado é do tipo trocador de calor de carcaça e tubos operando sob a forma de correntes opostas no qual a troca de calor ocorrerá entre o fluido refrigerante e a água. Para calcular as áreas de troca de calor o condensador é dividido em três partes, são elas: resfriamento, condensação e sub-resfriamento, a primeira etapa consiste em resfriar o fluido refrigerante até o ponto de vapor saturado na temperatura de 30°C, a etapa seguinte ocorre durante a condensação do refrigerante também a 30°C e a fase de sub-resfriamento ocorre durante a redução da temperatura do fluido de 30°C na fase líquida para 25°C. A Tabela 3 apresenta as equações utilizadas para calcular a troca de calor no condensador.

Tabela 3. Equações do fluxo térmico nas etapa do condensador

| Etapa no condensador | Equação do calor retirado |
|---|---|
| Resfriamento | $q_{res} = \dot{m}_r(E_{co1} - E_{co2})$ |
| Condensação | $q_{cond} = \dot{m}_r\, \lambda_r$ |
| Sub-resfriamento | $q_{sub} = \dot{m}_r(E_{co3} - E_{co4})$ |
| Calor total retirado do condensador | $q_{tcond} = q_{res} + q_{cond} + q_{sub}$ |

Após a obtenção do calor total retirado pelo condensador foi determinada a temperatura de saída da água ($T_{a1}$) conforme equação (3), para isso foi assumindo uma vazão mássica da água ($\dot{m}_a$) e estipulando uma temperatura de saída teórica para obter o calor específico da água. Esse procedimento é utilizado pois o calor específico da água não possui uma taxa de variação grande devido a variação de temperatura.

$$T_{a1} = \left(\frac{q_{tcond}}{\dot{m}_a\, Cp_a}\right) + T_{a4} \tag{3}$$

A Tabela 4 lista os dados necessários para o dimensionamento do condensador.

Tabela 4. Propriedades dos fluidos nas etapas do condensador

| | |
|---|---|
| $\lambda_r$ à 30°C [kJ/kg] | 217,20 |
| $\dot{m}_a$ estipulada [kg/s] | 1,70 |
| $Cp_a$ estipulado [kJ/kg K] | 4,21 |
| $T_{ea} = T_{a4}$ [°C] | 21,00 |
| $T_{er} = T_{r1}$ [°C] | 42,13 |
| $T_{r2}$ [°C] | 30,00 |
| $T_{r3}$ [°C] | 30,00 |
| $T_{sr} = T_{r4}$ [°C] | 25,00 |
| $E_{co1}$ [kJ/kg] | 451,60 |
| $E_{co2}$ [kJ/kg] | 415,30 |
| $E_{co3}$ [kJ/kg] | 242,30 |
| $E_{co4}$ [kJ/kg] | 235,00 |

Para calcular a área convectiva do condensador ($Ac_{co}$) foi utilizado o método da média logarítmica das diferenças de temperatura (MLDT). Sendo assim é necessário determinar o coeficiente global de troca térmica conforme a equação (4).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{interno}} + \frac{1}{h_{externo}}} \tag{4}$$

O $h_{interno}$ foi calculado pela correlação de Petukhov mostrada na equação (1), já o $h_{externo}$ foi calculado a partir da correlação de Zukauskas modificada por Isachenko, Osipova e Sukomiel que respeita a equação (5) para a convecção forçada em escoamentos externos contra feixe de tubos alternados.

$$Nu = c\, Re_{maxa}\, Pr_a{}^n \left(\frac{Pr_a}{Pr_w}\right)^{0,25} Es \tag{5}$$

.

Posteriormente são calculadas as temperaturas da água dentro do condensador.A Tabela 5 lista as equações.

Tabela 5. Equações para determinar a temperaturas da água dentro do condensador

| **Dados** | **Equações** |
|---|---|
| Temperatura $T_{a1i}$ | Estipulada |
| Temperatura $T_{a1}$ | $T_{a1} = \left(\frac{q_{tcond}}{\dot{m}_a \, Cp_{a1-4}}\right) + T_{a4}$ |
| Temperatura $T_{a2i}$ | $T_{a2i} = \left(\left(\frac{q_{cond}}{q_{tcond}}\right)(T_{a1} - T_{a4})\right) + T_{a3}$ |
| Temperatura $T_{a2}$ | $T_{a2} = \left(\frac{q_{cond}}{\dot{m}_a \, Cp_{a2-3}}\right) + T_{a3}$ |
| Temperatura $T_{a3i}$ | $T_{a3i} = \left(\left(\frac{q_{sub}}{q_{tcond}}\right)(T_{a1} - T_{a4})\right) + T_{a4}$ |
| Temperatura $T_{a3}$ | $T_{a3} = \left(\frac{q_{sub}}{\dot{m}_a \, Cp_{a3-4}}\right) + T_{a4}$ |
| Temperatura $T_{a4}$ | Definida pelo projeto |

Então é calculado a MLDT referente ao resfriamento, condensação e sub-resfriamento no condensador. Com essas informações foi calculada a área convectiva do condensador conforme as equações mostradas na Tabela 6.

Tabela 6. Equações da MLDT e área convectiva nas etapas do condensador

| **Resfriamento** | |
|---|---|
| **Dados** | **Equações** |
| $MLDT_{\text{res}}$ | $\text{MLDT}_{res} = \frac{(T_{r2} - T_{a2}) - (T_{r1} - T_{a1})}{\ln\left(\frac{(T_{r2} - T_{a2})}{(T_{r1} - T_{a1})}\right)}$ |
| Área convectiva | $\text{Ac}_{res} = \frac{q_{res}}{U \ \text{MLDT}_{\ res}}$ |
| **Condensação** | |
| **Dados** | **Equações** |
| $MLDT_{\text{cond}}$ | $\text{MLDT}_{cond} = \frac{(T_{r3} - T_{a3}) - (T_{r2} - T_{a2})}{\ln\left(\frac{(T_{r3} - T_{a3})}{(T_{r2} - T_{a2})}\right)}$ |
| Área convectiva | $\text{Ac}_{cond} = \frac{q_{cond}}{U \ \text{MLDT}_{\ cond}}$ |
| **Sub-resfriamento** | |
| **Dados** | **Equações** |
| $MLDT_{\text{sub}}$ | $\text{MLDT}_{sub} = \frac{(T_{r4} - T_{a4}) - (T_{r3} - T_{a3})}{\ln\left(\frac{(T_{r4} - T_{a4})}{(T_{r3} - T_{a3})}\right)}$ |
| Área convectiva | $\text{Ac}_{sub} = \frac{q_{sub}}{U \ \text{MLDT}_{\ sub}}$ |

A área convectiva total ($\text{Ac}_{total}$) do condensador é definida pela soma de todas as etapas do condensador. Com a área convectiva total do condensador é possível definir o diâmetro, o comprimento e o número de tubos.

### 2.6 Seleção da válvula de expansão

A válvula de expansão é selecionada com base na capacidade de refrigeração (C) e nos pontos de operação do sistema. Outros parâmetros operacionais também devem ser respeitados, como ser compatível com o fluido refrigerante, não gerar uma perda de carga que prejudique o sistema e atender o fluxo de massa mínimo.

Para fazer a seleção da válvula de expansão foi utilizado o *software* da Danfross, Coolselector®2 (2018), que possibilita verificar se o desempenho, velocidades de operação, perdas de carga, capacidade mínima e máxima da válvula estão dentro dos parâmetros de projeto.

### 2.7 Capacidade de produção, dimensões do produto, tubulações e condições iniciais

Para o dimensionamento e seleção dos demais componentes do equipamento, são necessários parâmetros de projeto como a capacidade de produção e as dimensões do produto. Esses parâmetros foram definidos analisando informações de fabricantes, necessidade do comercio e produtos já existentes. A Tabela 7 mostra os dados que foram utilizados antes das simulações.

Tabela 7. Dados iniciais das condições de projeto

| | |
|---|---|
| Temperatura do evaporador | -10 °C |
| Superaquecimento do evaporador mínimo | 5 °C |
| Temperatura do condensador | 30 °C |
| Sub-resfriamento do condensador mínimo | 5 °C |
| Temperatura inicial da água | 21 °C |
| Capacidade de produção em 24 horas | 3000 kg |
| Espessura do gelo | 10 mm |
| Diâmetro interno do gelo tubular | 9,525 mm (3/8 in) |
| Comprimento do gelo | 40 mm |
| Velocidade inicial do refrigerante | 27,91 m/s |
| Número de tubos do evaporador | 48 |
| Comprimento dos tubos do evaporador | 1,5 m |

Para selecionar a tubulação a ser utilizada no condensador, evaporador, linha de sucção e linha de descarga foi utilizado o catálogo da Eluma (2009), respeitando a NBR 7541 (2004), as pressões e velocidades do Sistema.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão mostrados os resultados do projeto térmico do equipamento para produção de gelo tubular.

Primeiramente foi analisando as características e propriedades dos refrigerantes, Tabela 1 e Tabela 2, para determinar que o fluido refrigerante HFC R134A será utilizado no equipamento devido as suas características termodinâmicas, propriedades de segurança e condições de operação. A Tabela 8 mostra os pontos de operação do R134A na configuração final do equipamento.

Tabela 8. Pontos de operação do fluido refrigerante R134A

| Refrigerante R134A | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ponto | Temperatura [°C] | Pressão [kPa] | Entalpia [kJ/kg] | Volume Específico [$m^3$/kg] |
| 1 | -11,00 | 132,7 | 393,70 | 0,1537 |
| 2 | 65,00 | 770,2 | 451,59 | 0,0320 |
| 3 | 25,00 | 770,2 | 235,00 | 0,0009 |
| 4 | -20,00 | 132,7 | 235,00 | 0,0464 |

Conforme o catálogo da Eluma (2009), tubos de cobre classe I serão utilizados no evaporador, sem costura para tubulações industriais com aplicações industriais com espessura de 1 mm e diâmetro externo de 3/8 in, garantindo um coeficiente de segurança de 11,43 nas regiões de máxima pressão do sistema.

A partir de simulações no *software* foi definido a influência dos parâmetros de entrada (velocidade de escoamento, comprimento do tubo, temperatura de entrada da água, espessura do gelo desejada e a temperatura de entrada do refrigerante no evaporador) em parâmetros de saída como a carga térmica retirada da água, o tempo de congelamento para atingir a espessura desejada, a quantidade de gelo produzida em 24 horas e a variação de temperatura do refrigerante.

A Figura 3 mostra a influência de diferentes velocidades de escoamento na carga térmica e evidencia que o aumento da velocidade de escoamento resulta numa quantidade maior de energia retirada do sistema, diminui o tempo de ciclo de congelamento necessário para obter a espessura de gelo desejada e aumenta a produção em 24 horas. Contudo, velocidades de escoamento muito altas podem comprometer a variação de temperatura necessária para garantir o superaquecimento do refrigerante de 5°C, além de gerarem uma vazão mássica muito elevada que aumenta o consumo e o custo dos compressores.

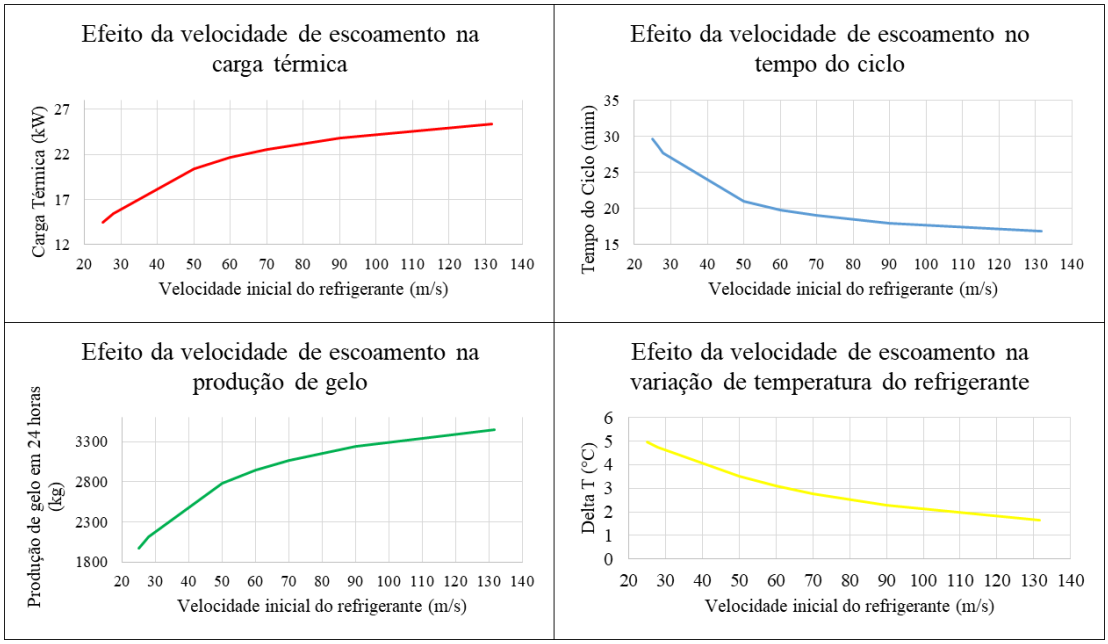



Figura 3. Efeito da velocidade de escoamento nos parâmetros de saída do equipamento

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**4 mostra que o uso de tubos maiores aumenta a carga térmica retirada do sistema, a produtividade do equipamento e garante a variação térmica mínima para o funcionamento adequado, entretanto, o uso de tubos mais longos resulta em tempos de ciclo elevados, fator que pode ser prejudiciais para o projeto.

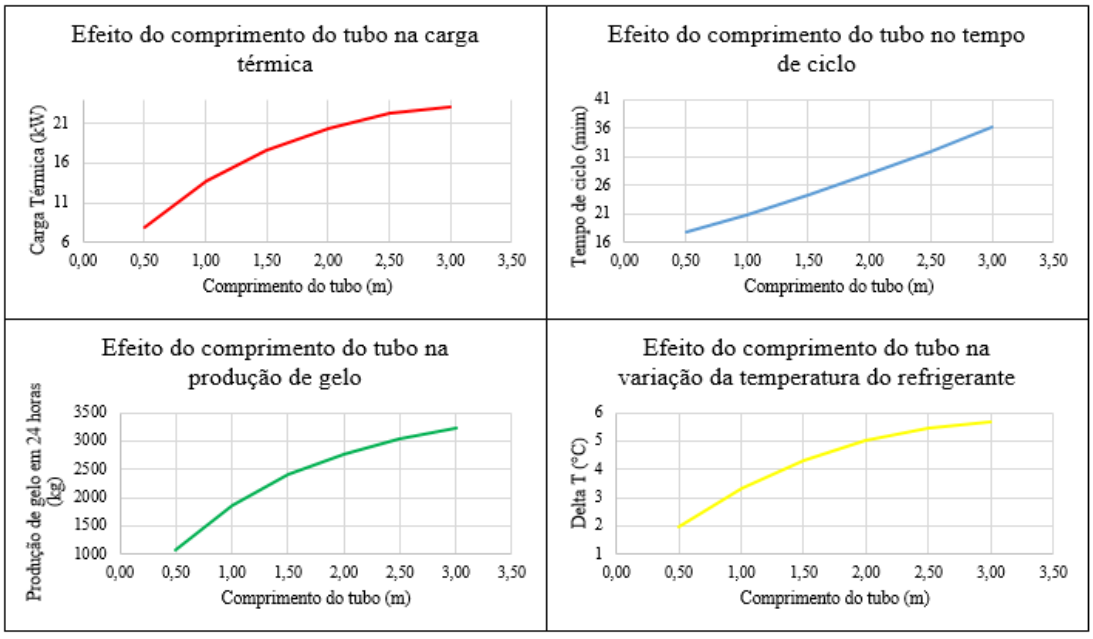



Figura 4. Efeito do comprimento do tubo nos parâmetros de saída do equipamento

O efeito da temperatura de entrada da água na carga térmica é mostrado na Figura 5 e, como o esperado, com temperaturas menores a carga térmica diminui. Nesse processo a temperatura da água de entrada varia constantemente devido ao refluxo da água de congelamento, é necessário a utilização de válvulas termostáticas e motores com inversores de frequência para garantir o funcionamento dos componentes e evitar problemas como congelamentos.

O tempo de ciclo diminui quando a água entra no evaporador com temperaturas menores, a diminuição da quantidade de calor necessária para obter a espessura de gelo desejada gera esse efeito e a produção em 24 horas aumenta. Porém, é preciso ter cuidado ao diminuir a temperatura de entrada da água no evaporador pois há uma diminuição da variação da temperatura do refrigerante. O controle da velocidade de escoamento é utilizado para garantir o delta T mínimo de 5°C.

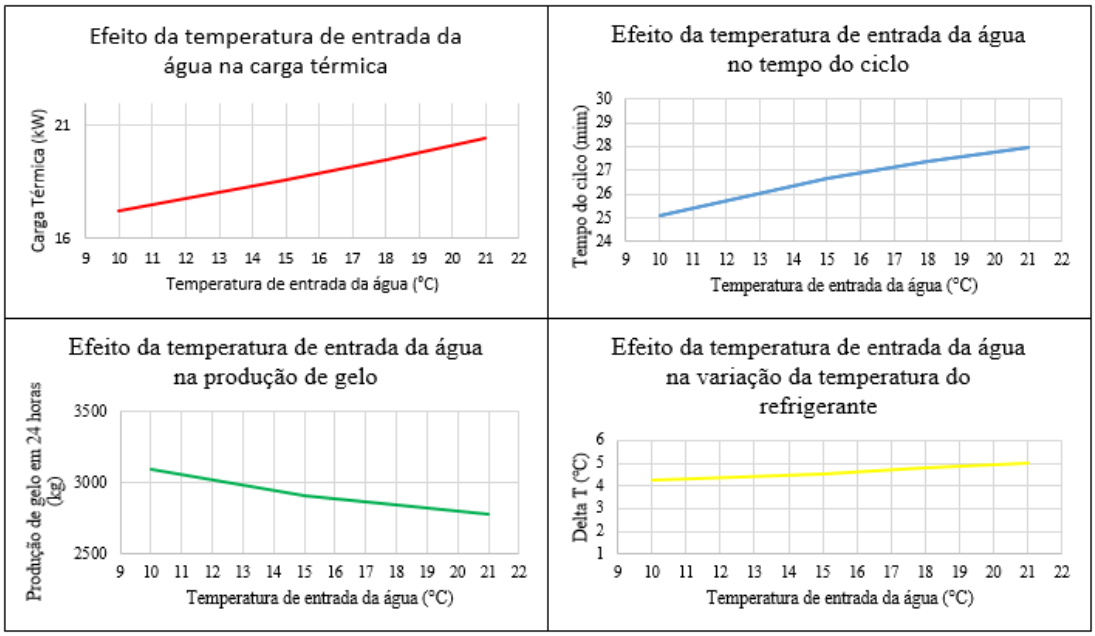



Figura 5. Efeito da temperatura de entrada da água nos parâmetros de saída do equipamento

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6 mostra que temperaturas inferiores no evaporador geram um aumento na carga térmica do equipamento, o tempo de ciclo diminui, a produção de gelo aumenta e a variação de temperatura aumenta.

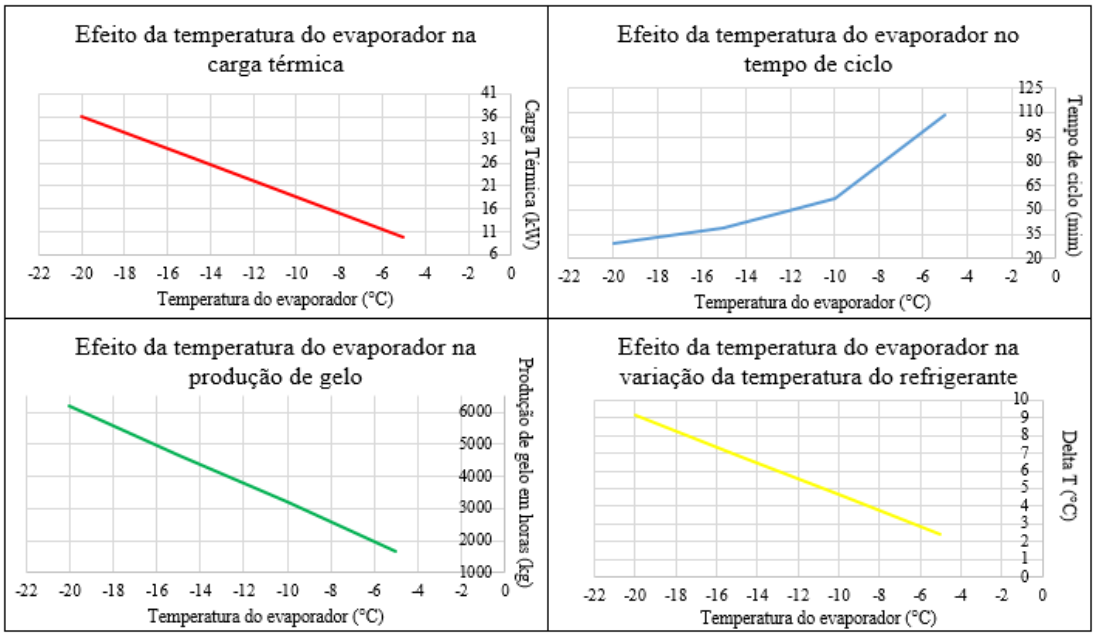



Figura 6. Efeito da temperatura do evaporador nos parâmetros de saída do equipamento

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7 mostra que o aumento da espessura de gelo melhora a carga térmica do evaporador. Efeito que pode ser utilizado para aumentar a produção de gelo e diminuir a carga térmica no equipamento. A mesma figura mostra que o tempo do ciclo aumenta devido ao aumento da espessura do gelo, efeito gerado pelo aumento da quantidade de calor necessária para obter espessuras de gelo maiores e pela diminuição do fluxo térmico, resultando em variações menores da temperature do refrigerante. É preciso notar que grandes tempos de ciclo são gerados e podem ser prejudiciais para a operação do equipamento.

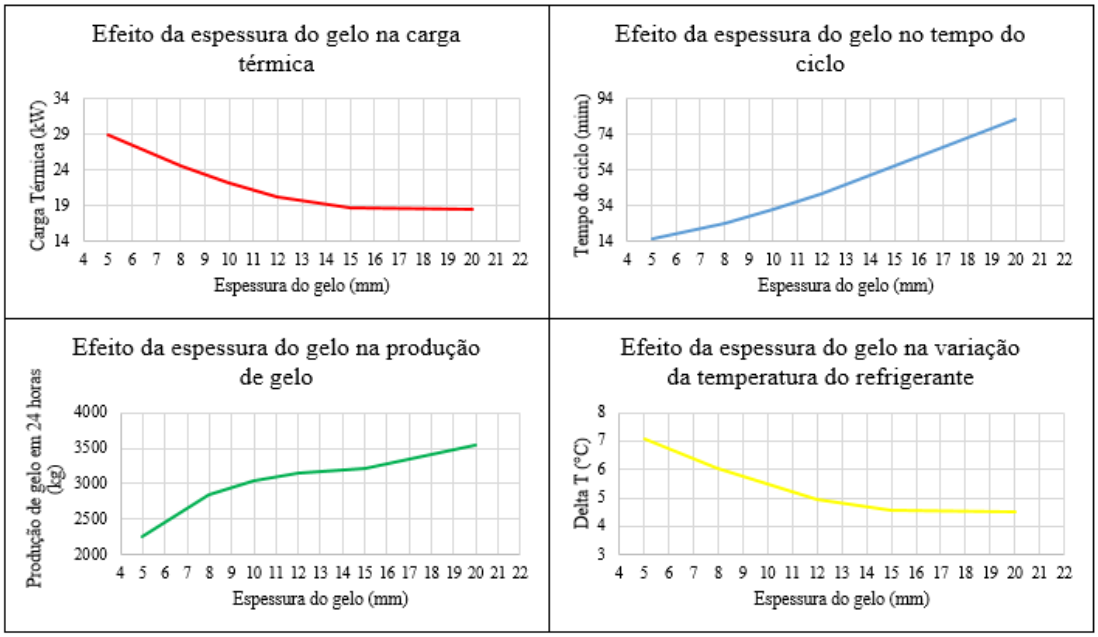



Figura 7. Efeito da espessura do gelo nos parâmetros de saída do equipamento

Após a realização das simulações, as condições do projeto foram alteradas buscando a melhor configuração do equipamento.

A Tabela 9 mostra as condições de projeto atualizadas após a otimização.

Tabela 91. Dados e condições de projeto otimizadas

| | |
|---|---|
| Temperatura do evaporador | -20 °C |
| Superaquecimento do evaporador | 9 °C |
| Temperatura do condensador | 30 °C |
| Sub-resfriamento do condensador | 5 °C |
| Temperatura inicial da água | 21 °C |
| Capacidade de produção em 24 horas | 3000 kg |
| Espessura do gelo | 15 mm |
| Diâmetro interno do gelo tubular | 9,525 mm (3/8 in) |
| Comprimento do gelo | 40 mm |
| Número de tubos do evaporador | 24 |
| Comprimento dos tubos do evaporador | 2,5 m |
| Velocidade inicial do refrigerante | 35 m/s |
| Tempo de ciclo | 30,20 mim |
| Massa solidificada por tubo | 2,65 kg |
| Massa solidificada por ciclo | 63,64 kg |
| Carga térmica por tubo | 0,74 kW |
| Carga térmica total | 17,76 kW |

Em seguida os parâmetros do ciclo foram calculados conforme a Tabela 10.

Tabela 10. Resultado dos parâmetros do ciclo de refrigeração

| **Parâmetro do ciclo** | **Equação** | **Valor** |
|---|---|---|
| Trabalho do compressor [kJ/kg] | $W_{comp}$=E2−E1 | 57,90 |
| Taxa de calor rejeitado [kJ/kg] | RC =E3−E2 | 216,60 |
| Efeito de Refrigeração [kJ/kg] | $ER$=E1−E4 | 158,70 |
| Coeficiente de performance | $COP=\frac{(E1-E4)}{(E2-E1)}$ | 2,74 |
| Potência de Refrigeração | $P.R.= 1/COP$ | 0,36 |

| | | |
|---|---|---|
| Vazão Mássica Refrigerante [kg/s] | $\dot{m}_r=\frac{C}{ER}$ | 0,11 |
| Vazão Volumétrica Refrigerante [m³/s] | $Q=\dot{m}_r\times v_r$ | 0,0049 |
| Capacidade de Refrigeração [kW] | $C=\dot{m}_r\times ER$ | 18,00 |
| Potência do Compressor [kW] | $Pot_{comp}=\dot{m}_r\times W_{comp}$ | 6,57 |

Os resultados para o dimensionamento do condensador, o calor total retirado e a área de troca de calor, são mostrados na Tabela 11. Valores calculados para tubos com diâmetro interno de 25,4 mm e utilizando um comprimento de tubo de 1,5 m, totalizando um trocador de calor de carcaça e tubo com correntes oposta com 18 tubos.

Tabela 11. Calor total retirado e área de troca de calor do condensador

| Etapa no condensador | Calor retirado | Área de troca de calor |
|---|---|---|
| Resfriamento | 3,993 kW | 0,196 m$^2$ |
| Condensação | 23,892 kW | 1,702 m$^2$ |
| Sub-resfriamento | 0,803 kW | 0,066 m$^2$ |
| Total | 28,688 kW | 1,964 m$^2$ |

Com a pesquisa realizada com o auxílio do software da Bitzer (2018) para a escolha dos possíveis compressores, o compressor alternativo 4HE-15Y-40P foi selecionado para compor o equipamento por melhor atender as necessidades do equipamento.

O modelo de válvula termostática TGE 10-16 foi escolhido utilizando o software Coolselector2 da Danfross (2018) por trabalhar na melhor capacidade nominal do sistema e oferecer um baixo investimento e custo de manutenção se comparado com a válvula eletrônica.

## 4. CONCLUSÃO

Buscou-se nesse trabalho, o estudo e projeto térmico de um equipamento para fabricação de gelo tubular com capacidade de 3000 kg em 24 horas, utilizando um ciclo de refrigeração por compressão de vapor cujo o dimensionamento dos componentes foi realizado considerando os parâmetros físicos, energéticos e comerciais adequados.

Inicialmente os possíveis métodos para a produção de gelo foram analisados, suas variáveis e características para concluir que o equipamento utilizará o processo de tubo externo no qual o gelo é formado na superfície externa do tubo e na superfície interna escoa o refrigerante.

O fluido refrigerante escolhido para o ciclo de refrigeração a vapor foi o R134A que, devido suas características de operação, se adaptaria bem ao projeto, gerando bons pontos de operação que trabalham com temperaturas e pressões aceitáveis e obedecem a normas regulamentadoras e handbooks de refrigeração.

As variáveis do projeto térmico e os parâmetros para o dimensionamento do equipamento foram definidos após o estudo dos possíveis evaporadores, condensadores, válvulas de expansão e compressores disponíveis e utilizados na produção de gelo tubular, estudo que mostrou que o principal parâmetro para o dimensionamento de todo equipamento é a carga térmica absorvida pelo evaporador.

Para gerar a formação de gelo em tubo externo foi utilizado um evaporador vertical de carcaça e tubos que, por trabalhar em um regime transiente, foi dimensionado com o auxílio do *software* programado por Simionato e Saraiva (2017) que utiliza o método entálpico de Cao et. al (1989) para o cálculo do crescimento da camada de gelo nos tubos.

Com a utilização desse *software* foram realizadas simulações com diferentes configurações do evaporador. Os dados obtidos foram plotados em gráficos que mostram o efeito de cada parâmetro na eficiência e produtividade do equipamento, possibilitando otimizar o projeto térmico e definir a melhor configuração possível que atenda as condições do projeto.

A partir da conclusão do dimensionamento do evaporador, foi realizado o cálculo da área convectiva necessária para um condensador de carcaça e tubos retirar do sistema o calor indesejado pelo método da média logarítmica das diferenças de temperatura, resultando em um condensador dentro dos parâmetros do mercado e atendendo a necessidade da máquina.

Com a carga térmica do ciclo de refrigeração foram selecionados o compressor e a válvula de expansão utilizando os softwares Bitzer (2018) e CoolSelector2 (2018) de empresas fornecedoras desses equipamentos. Concluiu-se que os equipamentos selecionados possuem dimensões e configurações comuns a outros equipamentos de produção de gelo tubular disponíveis no mercado.

Concluiu-se que o estudo obteve resultados satisfatórios para o projeto térmico e dimensionamento dos componentes, porém deve-se seguir somente como um estudo inicial pois sua validação é apenas teórica e sugere que trabalhos futuros sejam realizados para a validação e comparação com resultados em bancadas de testes. Futuros trabalhos podem avaliar outras configurações para o evaporador, como o método de produção de gelo interno, além de comparar o uso de diferentes fluidos refrigerantes no equipamento.

## 5. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7541. (2004). Tubo de cobre sem costura para refrigeração e ar-condicionado - Requisitos.

BITZER Software . (30 de Outubro de 2018). BITZER. Fonte: https://www.bitzer.de/websoftware/Default.aspx?cid=

Cao, Y., Faghri, A., & Chang, W. (1989). A numerical analysis of Stefan problems for generalized multi-dimensional phase-change structures using the enthalpy transforming model. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1289-1298.

Danfross. (30 de Outubro de 2018). Coolselector®2.

Eluma. (2009). Tubulações e conexões de cobre. Catálogo Eluma.

Holman, J. P. (1983). Transferência de calor. São Paulo: Mcgraw-hill Ltda.

MAC Total Ice. (24 de 02 de 2019). g1.globo. Fonte: https://g1.globo.com/economia/pme/pequenas-empresas-grandes-negocios/noticia/2019/02/24/maquina-de-gelo-vira-negocio-dos-sonhos-em-tempos-de-muito-calor.ghtml

NR - Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego. (17 de Outubro de 2009). NR17 - Ergonomia. Fonte: Ministério do trabalho: http://trabalho.gov.br/

Simionato , L., & Saraiva, L. (2017). Programa computacional para cálculo da fronteira de solidificação e da convecção forçada em um armazenador cilíndrico onde um dos fluidos sofre mudança de fase. Trabalho Final de Graduação - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo.

Wang, S. K. (2000). ASHRAE Handbook of air conditioning and refrigeration (2ª Edição ed.). New York: McGraw Hill.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ESTUDO NUMÉRICO DO ESCOAMENTO BIDIMENSIONAL SOBRE O AEROFÓLIO NACA 0012 UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS DE TURBULÊNCIA

**Leonardo Boff Breitenbach**
**Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
breitenbach.bleonardo@gmail.com; marco@uricer.edu.br

***Resumo.*** *O presente estudo teve como objetivo analisar a funcionalidade de diferentes modelos de turbulência, para escoamentos bidimensionais de ar em regime subsônico e transônico sobre o aerofólio NACA 0012. Para isso foram realizadas simulações numéricas para diferentes configurações de escoamentos. A partir destas simulações foi possível obter as curvas de distribuição do coeficiente de pressão sobre o aerofólio, sendo então comparados com dados experimentais e numéricos disponíveis na bibliografia. Foram também apresentados os campos de pressão e velocidade para os casos estudados. Para todos os modelos de turbulência analisados, os resultados obtidos para as curvas de distribuição do coeficiente de pressão apresentaram boa concordância com os dados experimentais.*

***Palavras-chave:*** *CFD, RANS, turbulência, modelos de turbulência, escoamento turbulento.*

## 1. INTRODUÇÃO

As ferramentas de simulação numérica possuem uma enorme importância para engenharia. Na indústria aeronáutica, por exemplo, se utiliza códigos de CFD (*Computational Fluid Dynamics*), como complemento aos experimentos em túneis de vento. Com o auxílio do CFD, o projeto aerodinâmico de uma aeronave, se torna mais barato e mais rápido, pois através dos resultados obtidos através das simulações numéricas, é possível reduzir o número de experimentos em túnel de vento. Além disso, por meio de experimentos, não é possível obter dados como, velocidade, temperatura e massa específica em todos os pontos do domínio de estudo. Já com o uso das ferramentas de simulação numérica, dados do escoamento podem ser obtidos em qualquer região do domínio e sobre o objeto de análise (PATANKAR, 1980).

As ferramentas de CFD são desenvolvidas através de códigos computacionais que solucionam numericamente as equações diferenciais que representam o fenômeno a ser estudado. As equações de Navier-Stokes, em geral, são as mais empregadas. De acordo com Souza (2009), apesar destas equações serem capazes de representar todos os fenômenos envolvidos na dinâmica dos fluidos, devido a turbulência, isso não é possível para a maior parte dos problemas práticos de engenharia, pois para capturar tal fenômeno, seriam necessárias malhas extremamente refinadas, com volumes de controle na mesma ordem de grandeza das menores escalas de turbulência. Malhas tão refinadas por sua vez, requerem grande esforço computacional. Um método numérico que segue essa linha é o DNS (*Direct numerical simulation*), onde as equações de Navier-Stokes são resolvidas em malhas suficientemente refinadas para solucionar todas as escalas de comprimento de Kolmogorov, nas quais a dissipação de energia ocorre com intervalos de tempo pequenos o bastante para resolver as flutuações turbulentas. Cálculos pelo método DNS, no entanto, exigem um grande esforço computacional, sendo assim, este método não é utilizado na engenharia (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Os métodos numéricos mais utilizados para capturar os efeitos decorrentes da turbulência, são o RANS e LES. O método RANS (*Reynolds-averaged Navier-Stokes*), é amplamente utilizado na engenharia. Esse método se caracteriza por representar as equações de Navier-Stokes com médias no tempo, onde o foco está voltado ao escoamento médio e os efeitos da turbulência no escoamento médio. Devido as flutuações turbulentas, surgem termos extras nas equações originais de Navier-Stokes. Esses termos extras são modelados por equações diferenciais adicionais. O método LES (*Large eddy simulation*), é caracterizado por separar os vórtices maiores, dos vórtices menores, para na sequência, solucionar diretamente os vórtices maiores, e através de modelagem os vórtices menores. O uso deste método exige maior esforço computacional comparado as equações de RANS, no entanto para alguns casos, seu uso pode ser justificado por um possível aumento de precisão dos resultados (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Conforme Versteeg e Malalasekera (2007), para a maioria dos propósitos de engenharia, não é necessário resolver detalhes das flutuações turbulentas, sendo o suficiente a obtenção das propriedades médias do escoamento, como por exemplo, (velocidades médias, pressões médias, tensões médias etc.). Dessa forma, a maior parte dos cálculos de

escoamentos turbulentos, é e no futuro próximo, continuarão sendo realizados através de códigos baseados em equações de RANS.

O método numérico para resolver as equações de RANS consiste em um processo de média das variáveis dependentes, as quais são divididas em duas parcelas, uma sendo a média no tempo e outra a flutuação sobre a média. Através desse processo são gerados novos termos, estes conhecidos como tensões de Reynolds. Devido ao surgimento desses novos termos, tornou-se necessário o desenvolvimento de equações capazes de avaliá-los. Começaram então, a ser elaborados os modelos de turbulência.

A maioria dos modelos de turbulência que foram desenvolvidos baseia-se na hipótese apresentada por Joseph Valentin Boussinesq em 1877, o qual sugeriu que as que as tensões cisalhantes turbulentas podem ser relacionadas à taxa de cisalhamento média por intermédio de uma viscosidade turbulenta aparente. Os modelos de turbulência podem classificados de acordo com o uso ou não da hipótese de Boussinesq, e ainda com base no número de equações diferenciais suplementares que devem ser resolvidas (SOUZA, 2009).

Dentre os principais modelos de turbulência, tem-se: os modelos algébricos mais simples sendo considerados de zero equação, os modelos de uma única equação (Spalart-Allmaras), os modelos de duas equações (*k-ε*, *k-ω* e *k-ω* SST) e outros modelos mais complexos com mais equações (Reynolds *Stress* e *Transition* SST).

O presente estudo teve como objetivo geral analisar a funcionalidade de diferentes modelos de turbulência, para o escoamento em regime subsônico e transônico, sobre o aerofólio NACA 0012. Os modelos escolhidos para esta análise foram: o modelo de uma equação Spalart-Allmaras e os modelos de 2 equações, *k-ε*, *k-ω* e *k-ω* SST. Utilizando cada um destes modelos, foram realizadas simulações numéricas para dois casos, se obtendo a distribuição do coeficiente de pressão sobre o aerofólio. As condições de escoamento representadas nas simulações foram para o número de Reynolds próximo a $9x10^6$, com o aerofólio em um ângulo de ataque α igual a 3,86° e número de Mach = 0,5 para o primeiro caso, e α = -0,14 e Mach = 0,74 para o segundo caso. Os resultados foram comparados com dados experimentais descritos por Harris (1981). Além da comparação entre dados experimentais, os resultados obtidos foram comparados com dados numéricos apresentados por Souza (2009), o qual implementou o modelo de turbulência Spalart-Allmaras, em seus códigos.

## 2. FORMULAÇÃO TEÓRICA

A análise de escoamento de ar em torno de perfis aerodinâmicos começa com a declaração das equações de conservação na dinâmica dos fluidos, chamadas de equações de Navier-Stokes. Conforme Souza (2009), estas equações na forma conservativa e utilizando a notação indicial de Einstein, podem ser escritas da seguinte forma:

equação da continuidade

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

equações da quantidade de movimento

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_i u_j\right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\tau_{ij} \tag{2}$$

equação da energia

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(e u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j}(-p u_j + \tau_{ij} u_i - q_j) \tag{3}$$

onde $\rho$ é a massa específica do fluido, $u$ é a componente de velocidade, $p$ é a pressão dinâmica, $\tau$ representa o tensor das tensões viscosas, $e$ representa a energia por unidade massa e $q$ representa o fluxo de calor.

Estas equações são capazes de representar todos os fenômenos envolvidos na dinâmica dos fluidos. Porém, diante da incapacidade disso ser realizado para a maioria dos problemas práticos de engenharia, para viabilizar os cálculos, são abandonados os detalhes das flutuações turbulentas e dado foco somente aos valores médios das propriedades. Como resultado desse processo se resulta nas equações de RANS. Para uma determinada variável genérica $\varphi$, a definição de um valor médio $\bar{\varphi}$ sobre o período de integração $\Delta T$ é dado por:

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{\Delta T}\int_t^{t+\Delta T} \varphi dt \tag{4}$$

onde $\Delta T$ deve ser pequeno em relação à escala de tempo das variações das quantidades médias, porém grande comparado ao período das flutuações associadas com a turbulência.

Dessa forma o valor instantâneo de $\varphi$, pode ser representado por:

$$\varphi = \bar{\varphi} + \varphi' \tag{5}$$

Aplicando-se o método numérico baseado nas equações de RANS, surgem novos termos, os quais envolvem produtos de flutuações chamados de momentos turbulentos (SOUZA, 2009, *apud* HINZE, 1975).

De acordo com Souza (2009, *apud* Favre, 1965), para se evitar isso, e simplificar a forma final das equações, utiliza-se o conceito da média ponderada pela massa especifica, onde:

$$\tilde{\varphi} = \frac{\overline{\rho\varphi}}{\bar{\rho}} \tag{6}$$

A média ponderada pela massa especifica só se faz presente nas componentes de velocidade e variáveis térmicas. Já propriedades do fluido, como densidade e pressão são tratadas pela média de Reynolds em sua forma convencional.

Substituindo cada variável dependente pelas suas parcelas nas equações de Navier-Stokes e tirando-se a média, se obtém o sistema de equações de Navier-Stokes com média de Reynolds:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho}\tilde{u}_j) = 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}\tilde{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{\rho}\tilde{u}_i\tilde{u}_j\right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\tau}_{ij} - \overline{\rho u_i^{"} u_j^{"}}) \tag{8}$$

$$\frac{\partial \bar{e}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\bar{e} + \bar{p})\tilde{u}_j\right] = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\tilde{u}_i(\bar{\tau}_{ij} - \overline{\rho u_i^{"} u_j^{"}}) + \overline{u_i^{"}\left(\tau_{ij} - \frac{\rho u_i^{"} u_j^{"}}{2}\right)}\right] - \frac{\partial \bar{q}_j}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j}(\overline{\rho u_j^{"} h}) \tag{9}$$

em que $h$ é a entalpia específica.

Ao comparar as equações de RANS com as equações de Navier-Stokes em sua forma original, nota-se o surgimento de novos termos, tais termos correspondem à influência das flutuações turbulentas sobre o escoamento médio. Os termos são os seguintes:

$-\overline{\rho u_i^{"} u_j^{"}}$, termos de tensões de Reynolds;

$\overline{u_i^{"}\left(\tau_{ij} - \frac{\rho u_i^{"} u_j^{"}}{2}\right)}$, termos de dissipação de Reynolds;

$\overline{\rho u_j^{"} h}$, termos de fluxo de calor de Reynolds.

Para realizar o fechamento do sistema de equações, torna-se necessário modelar esses novos termos. A maioria dos modelos de turbulência baseia-se na hipótese de Boussinesq. Esta hipótese está fundamentada em acrescentar um coeficiente de viscosidade turbulenta à viscosidade molecular, da seguinte forma:

$$\mu = \mu_l + \mu_t \tag{10}$$

Levando-se em conta que os termos de tensões de Reynolds podem ser relacionados com o escoamento médio da mesma maneira que o tensor das tensões viscosas é relacionado com as taxas de deformação de um fluido newtoniano. Obtém-se a seguinte relação:

$$\overline{\rho u_i^{"} u_j^{"}} = \mu_t\left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\mu_t \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k}\delta_{ij} \tag{11}$$

em que $\delta$ é a função de Kronecker.

O mesmo conceito é aplicado à condutividade térmica, onde se acrescenta um coeficiente de condutividade térmica turbulenta à condutividade térmica molecular,

$$k = k_l + k_t \tag{12}$$

A condutividade térmica turbulenta, $k_t$, é relacionada com a viscosidade turbulenta, $\mu_t$, pela relação:

$$Pr_t = \frac{c_p \mu_t}{k_t} \tag{13}$$

onde $Pr_t$ é o número de Prandtl turbulento e $c_p$ é o calor especifico a pressão constante.

Para a condutividade térmica $k$, pode-se escrever então:

$$k = k_l + k_t = \frac{c_p \mu_l}{Pr} + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \tag{14}$$

Diferentemente da viscosidade molecular e da condutividade térmica molecular, a viscosidade turbulenta, e a condutividade térmica turbulenta, não são propriedades do fluido. Conforme Souza (2009), a grande dificuldade em se modelar a turbulência, se deve à dependência de $\mu_t$ e $k_t$ sobre o escoamento.

Implementando-se a hipótese de Boussinesq, o sistema de equações de Navier-Stokes com média de Reynolds, escrito em termos das quantidades médias, ganha a seguinte forma:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho}\tilde{u}_j) = 0 \tag{15}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}\tilde{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{\rho}\tilde{u}_i\tilde{u}_j + \bar{p}\delta_{ij} - \tilde{\tau}_{ij}\right) = 0 \tag{16}$$

$$\frac{\partial \tilde{e}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\tilde{e} + \bar{p})\tilde{u}_j - \tilde{\tau}_{ij}\tilde{u}_i + \tilde{q}_j\right] = 0 \tag{17}$$

O tensor das tensões viscosas e o vetor de fluxo de calor são representados por:

$$\tilde{\tau}_{ij} = (\mu_l + \mu_t)\left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}(\mu_l + \mu_t)\frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k}\delta_{ij} \tag{18}$$

$$\tilde{q}_j = -\left(\frac{c_p \mu_l}{Pr} + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t}\right)\frac{\partial \tilde{T}}{\partial x_i} \tag{19}$$

## 3. MODELOS DE TURBULÊNCIA

De acordo com Versteeg e Malalasekera (2007), os termos extras que surgem devido às interações entre as flutuações turbulentas, são modelados por equações diferenciais adicionais conhecidas com equações de RANS. Estas equações compõem os modelos de turbulência. Os modelos de turbulência estudados no presente trabalho são apresentados na sequência.

### 3.1 Modelo de turbulência *k-ε*

Os modelos de turbulência de duas equações são historicamente os mais utilizados no CFD industrial. Estes modelos resolvem duas equações de transporte e modelam as tensões de Reynolds usando a abordagem da viscosidade turbulenta. O modelo *k-ε* padrão, se enquadra nessa classe de modelos de duas equações. Tal modelo proporciona robustez, economia e precisão razoável para uma ampla gama de fluxos turbulentos a nível industrial. A desvantagem do modelo *k-ε*, está na insensibilidade a gradientes de pressão adversos e separação da camada limite. Este modelo normalmente prevê uma separação da camada limite atrasada e reduzida em relação às observações. Essa desvantagem

pode resultar em avaliações de projeto excessivamente otimistas para escoamentos com separação. O modelo *k-ε*, portanto, geralmente não é utilizado para casos que envolvem aerodinâmica externa (ANSYS USER'S GUIDE, 2013).

Segundo Bardina, Huang e Coakley (1997), neste modelo as equações de transporte são resolvidas para duas propriedades escalares de turbulência. A equação $k$ é um modelo da equação de transporte para a energia cinética turbulenta, já a equação $\varepsilon$ é um modelo para a taxa de dissipação de energia cinética turbulenta. As equações de transporte de turbulência para o modelo *k-ε*, são representadas por:

equação de transporte de energia turbulenta

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) = \tau_{t_{ij}} S_{ij} - \rho\varepsilon + \phi_k \tag{20}$$

equação de transporte de dissipação de energia

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j \varepsilon - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right) = c_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}\tau_{t_{ij}} S_{ij} - c_{\varepsilon 2} f_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \phi_\varepsilon \tag{21}$$

### 3.2 Modelo de turbulência *k-ω Standard*

Conforme Bardina, Huang e Coakley (1997), o modelo *k-ω* apresenta estabilidade numérica superior comparada ao modelo *k-ε*, levando vantagem principalmente na subcamada viscosa próxima à parede. Os autores explicam que devido aos grandes valores de $\omega$ na região da parede, este modelo não requer funções explícitas de amortecimento de parede, como acorre no modelo *k-ε* e outros modelos de duas equações.

De acordo com o guia de usuário ANSYS Fluent (2013), os modelos *k-ω*, são em geral melhores na previsão de fluxos com gradiente de pressão adversa e separação da camada limite. A desvantagem da equação $\omega$ padrão, está em apresentar uma sensibilidade relativamente grande da solução, para determinados valores de fluxo livre de $k$ e $\omega$, em regiões fora da camada de cisalhamento.

As duas equações de transporte do modelo para as escalas de turbulência escalar $k$ e $\omega$, são definidas como:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j k - (\mu + \sigma^* \mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) = \tau_{t_{ij}} S_{ij} - \beta^* \rho \omega k \tag{22}$$

$$\frac{\partial \rho \omega}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j \omega - (\mu + \sigma \mu_t)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right) = \alpha \frac{\omega}{k}\tau_{t_{ij}} S_{ij} - \beta \rho \omega^2 \tag{23}$$

### 3.3 Modelo de Turbulência *k-ω* SST

Conforme Balen (2017), o modelo *k-ω* SST, faz o uso de uma combinação entre os elementos dos modelos *k-ε* e *k-ω*, utilizando o equacionamento do modelo *k-ε* para a modelagem de regiões afastadas da camada limite, onde este possui maior eficácia, e o modelo *k-ω* para regiões próximas a camada limite.

O modelo *k-ω* SST é um dos modelos mais utilizados em analises de escoamentos aerodinâmicos. Normalmente, este modelo é um pouco mais preciso em prever as características da camada limite da parede do que o modelo Spalart-Allmaras (ANSYS USER'S GUIDE, 2013).

De acordo com Bardina, Huang e Coakley (1997), as diferenças entre está formulação e o modelo *k-ω* original, são que um termo adicional de difusão cruzada aparece na equação $\omega$ e também que as constantes de modelagem são diferentes. O modelo *k-ω* original é multiplicado por uma função $F_1$ e o modelo *k-ε* transformado por uma função $(1 - F_1)$, as equações correspondentes de cada modelo são somadas. A função $F_1$ é projetada para possuir valor de $F_1 = 1$, na região próxima à parede (ativando o modelo original) e $F_1 = 0$, longe da parede. A mistura ocorre na região de esteira da camada limite. As duas equações de transporte do modelo em função da mistura $F_1$, para os coeficientes das equações originais $\omega$ e $\varepsilon$, são representadas por:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j k - (\mu + \sigma_k \mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) = \tau_{t_{ij}} S_{ij} - \beta^* \rho \omega k \tag{24}$$

$$\frac{\partial \rho\omega}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j\omega-(\mu+\sigma_\omega\mu_t)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right)=P_\omega-\beta\rho\omega^2+2(1-F_1)\frac{\rho\sigma_{\omega 2}}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (25)$$

o último termo da Eq. 25, representa o termo de difusão cruzada, que aparece na equação $\omega$ transformada, a partir da equação $\varepsilon$ original.

### 3.4 Modelo de Turbulencia Spalart-Allmaras

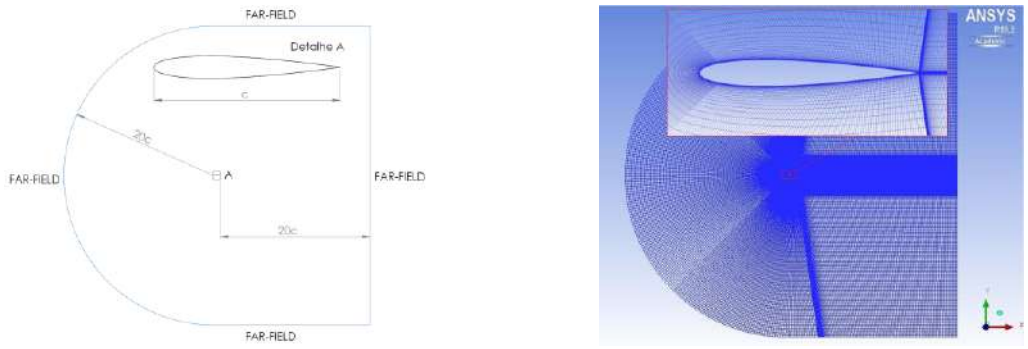
Este modelo tem como objetivo, melhorar as previsões obtidas com modelos algébricos e fornecer uma alternativa mais simples aos modelos de turbulência de duas equações. Conforme o guia de usuário ANSYS Fluent (2013), o modelo Spalart-Allmaras é um modelo relativamente simples, que resolve uma equação de transporte modelada para a viscosidade cinemática turbulenta. O modelo Spalart-Allmaras foi projetado especificamente para aplicações aeronáuticas e aeroespaciais envolvendo fluxos limitados por paredes, apresentando bons resultadas para as camadas limite sujeita a gradientes de pressão adversos. De acordo com Souza (2009), o modelo produz uma transição laminar-turbulenta relativamente suave, em pontos especificados pelo usuário. Segundo Bardina, Huang e Coakley (1997), tal modelo não requer uma malha tão refinada em fluxos limitados por parede, quanto os modelos de turbulência de duas equações e demonstra boa convergência em fluxos mais simples.

A equação de transporte para o modelo de turbulência Spalart-Allmaras $\tilde{v}$, é modelada como:

$$\frac{\partial \rho\tilde{v}}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\tilde{v}u_j)=c_{b1}(1-f_{t2})\rho\tilde{S}\tilde{v}+\frac{1}{\sigma}\left[\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho(v+\tilde{v})\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_j}\right)+c_{b2}\rho\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_j}\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_j}\right]-\left[c_{w1}f_w-\frac{c_{b1}}{k^2}f_{t2}\right]\rho\left[\frac{\tilde{v}}{d}\right]^2+f_{t1}\rho\Delta U^2 \quad (26)$$

## 4. MODELO, DOMÍNIO COMPUTACIONAL E CONDIÇÕES DE CONTORNO

O modelo utilizado neste estudo foi o aerofólio NACA 0012. O domínio computacional foi modelado em uma malha do tipo C, no qual todas as fronteiras se distanciam a 20 cordas da superfície do aerofólio. Paras as fronteiras do domínio foi utilizada a condição de contorno de fronteira remota (*FAR-FIELD*), e para a parede do aerofólio, condição de parede estacionária e sem deslizamento. A malha foi criada através do *software* ICEM, sendo esta, do tipo estruturada e com grandes refinamentos próximo à parede do aerofólio. A primeira camada da malha fica a $5\times10^{-6}\,m$ de distância da superfície do aerofólio, tal dimensão sendo aproximadamente ao que corresponde a uma unidade da camada de parede viscosa ($y^+\cong 1$), para todos casos analisados. O domínio computacional com as condições de contorno e a malha estão representados respectivamente na Fig. 1a e Fig. 1b.




(a) (b)

Figura 1. (a) Modelo, domínio computacional e condições de contorno; (b) Malha

## 5. MÉTODO NUMÉRICO

Na abordagem deste estudo foram utilizadas as equações de Navier-Stokes com média de Reynolds (RANS). A solução destas equações foi feita pelo do método dos volumes finitos com o uso do *software* ANSYS Fluent 19,2 na versão acadêmica. Neste *software* foi utilizado o algoritmo baseado em densidade (*Density-Based*), através de uma formulação implícita acoplada e com todos os esquemas dediscretização espacial de segunda ordem. Os modelos de turbulência utilizados nas simulações foram: Spalart-Allmaras, *k-ε*, *k-ω* e *k-ω* SST. O fluido de trabalho foi o ar, considerado gás ideal e com sua viscosidade definida em função da temperatura através da lei de Sutherland. O critério de convergência numérica foi estabelecido para uma variação máxima $1\text{x}10^{-5}$ para todas as propriedades.

## 6. CONDIÇÕES INICIAIS

As simulações numéricas foram realizadas utilizando as condições de escoamento descritas na Tab. 1.

Tabela 1. Condições de escoamento.

| *Nº Caso* | $M_\infty$ | *Re* | $\alpha$ |
|---|---|---|---|
| Caso 1 | 0,50 | ≈ 9x10$^6$ | 3,86° |
| Caso 2 | 0,74 | ≈ 9x10$^6$ | -0,14° |

## 7. RESULTADOS

Através de curvas de distribuição do coeficiente de pressão $C_p$, foram comparados os resultados obtidos no presente estudo com o uso de diferentes modelos de turbulência, com dados experimentais obtidos por Harris (1981) e com dados de simulações numéricas obtidos por Souza (2009), com o uso do modelo de turbulência Spalart-Allmaras.

Para os cálculos do caso 1, através do modelo de turbulência *k-ω Standard*, não foi possível atingir o critério de convergência estabelecido, com o método numérico escolhido. Sendo assim, para este caso em específico, a simulação foi interrompida para um critério de convergência um pouco abaixo de 1x10$^{-3}$. Na Fig. 2, estão representados os dados de distribuição do coeficiente de pressão $C_p$ para o caso 1, em comparação com os dados experimentais de Harris (1981). Nota-se que para todos os modelos de turbulência testados, até mesmo para o *k-ω Standard*, os dados numéricos obtidos apresentam boa concordância com os dados experimentais.

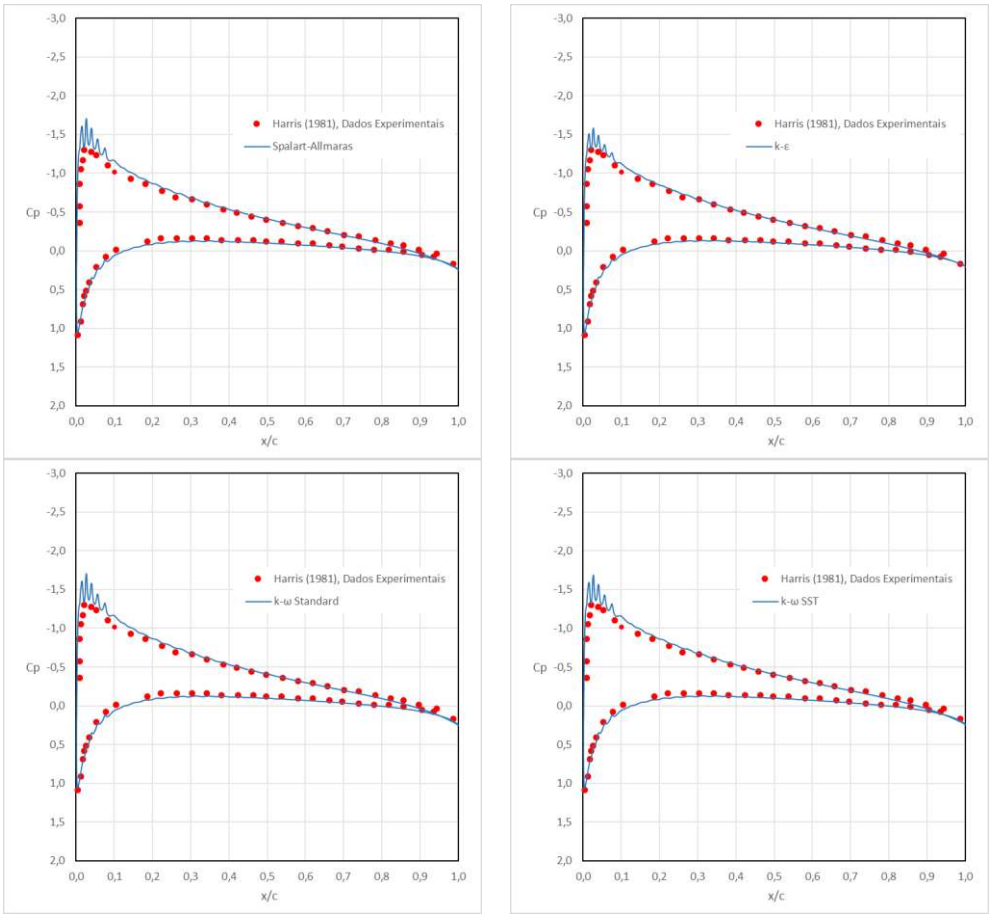



Figura 2. Distribuição do coeficiente de pressão $C_p$ para α = 3,86° e $M_\infty$ = 0,50

Na Fig. 3, encontram-se os resultados para o caso 2, comparados aos dados experimentais de Harris (1981). Da mesma forma que para o primeiro caso, todos os modelos de turbulência, levaram a dados de distribuição do coeficiente de pressão muito próximos aos experimentais.

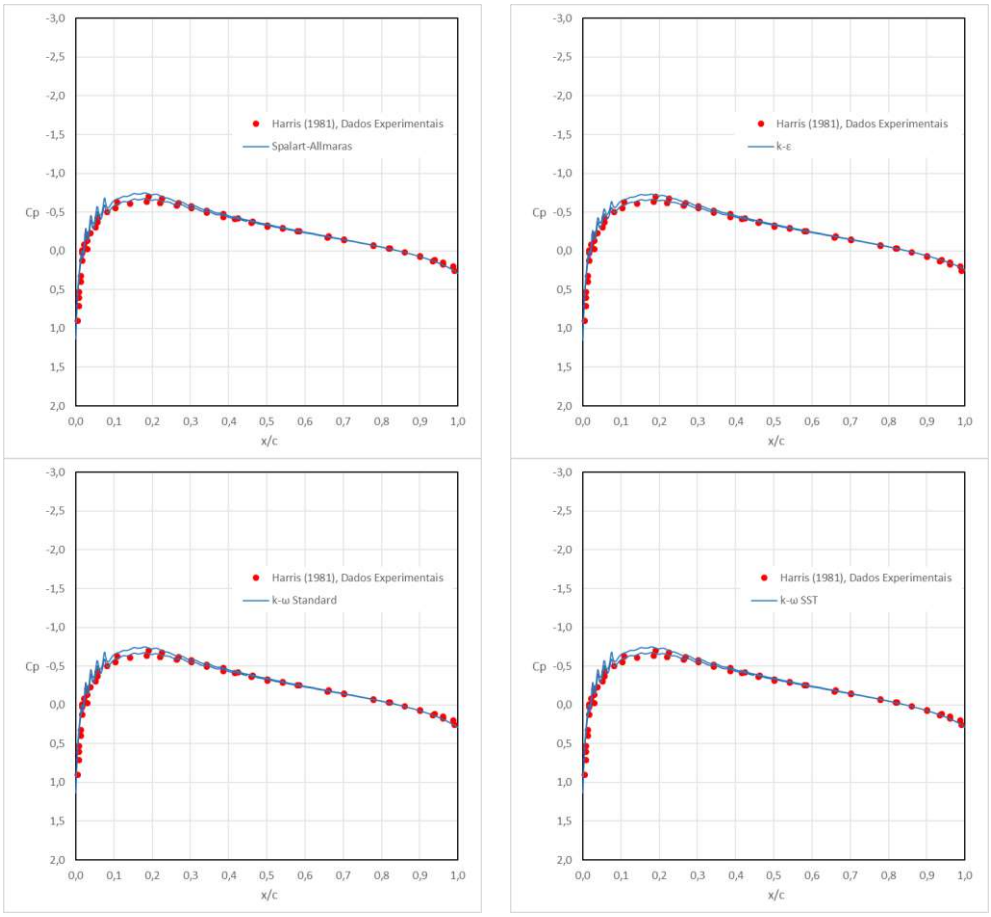
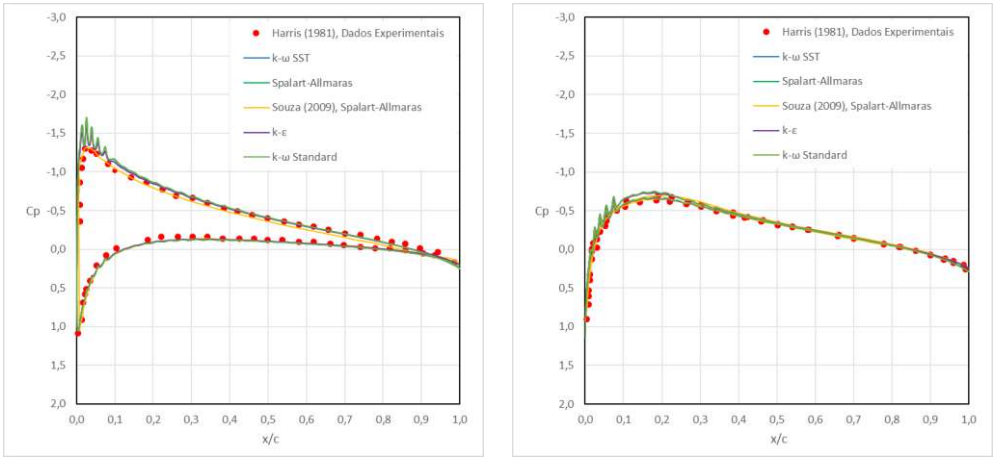



Figura 3. Distribuição do coeficiente de pressão $C_p$ para α = -0,14° e $M_\infty$ = 0,74

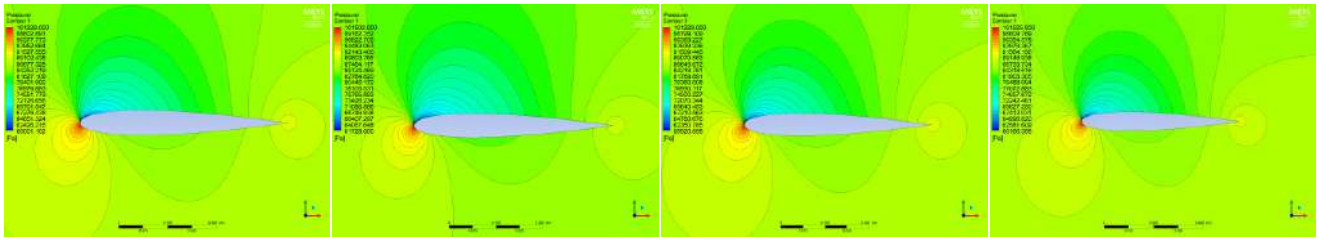
Na Fig. 4, são sobrepostas as curvas de distribuição do coeficiente de pressão $C_p$, para os dados obtidos com todos os modelos de turbulência utilizados, nos dois casos simulados. Estas curvas estão comparadas com os dados experimentais de Harris (1981) e com os dados numéricos obtidos por Souza (2009), através do modelo de turbulência Spalart-Allmaras. Com todas as curvas sobrepostas em um mesmo gráfico, se nota que os dados numéricos se assemelham muito entre si, e também ficam muito próximos aos dados experimentais.




(a) (b)

Figura 4. Distribuição do $C_p$ para: (a) α = 3,86° e $M_\infty$ = 0,50; (b) α = -0,14° e $M_\infty$ = 0,74

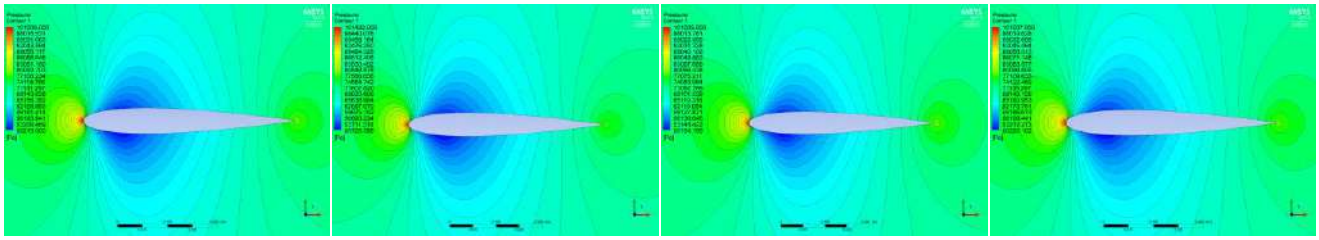
Com o auxílio do *software* de pós-processamento CFD Post, foram obtidos os contornos de pressão e contornos de velocidade em função do número de Mach, para os dois casos, variando-se os modelos de turbulência. A Fig. 5 mostra os contornos de pressão para as condições do caso 1, para os modelos de turbulência analisados.



Spalart-Allmaras | *k-ε* | *k-ω Standard* | *k-ω* SST

Figura 5. Contornos de pressão para α = 3,86° e $M_\infty$ = 0,50

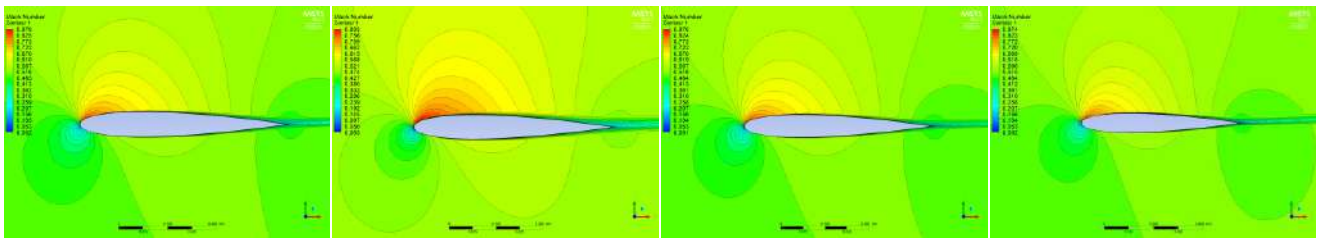
A Fig. 6 mostra os contornos de pressão do caso 2, para os modelos de turbulência analisados.



Spalart-Allmaras | *k-ε* | *k-ω Standard* | *k-ω* SST

Figura 6. Contornos de pressão para α = -0,14° e $M_\infty$ = 0,74

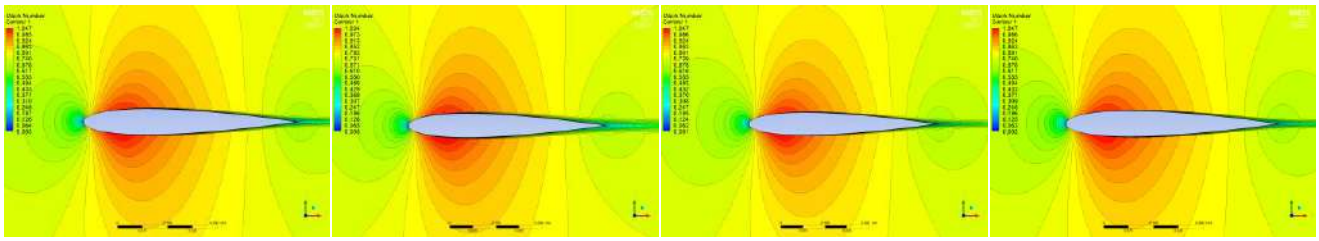
A Fig. 7 mostra os contornos de velocidade do caso 1, para os modelos de turbulência analisados.



Spalart-Allmaras | *k-ε* | *k-ω Standard* | *k-ω* SST

Figura 7. Contornos de velocidade para α = 3,86° e $M_\infty$ = 0,50

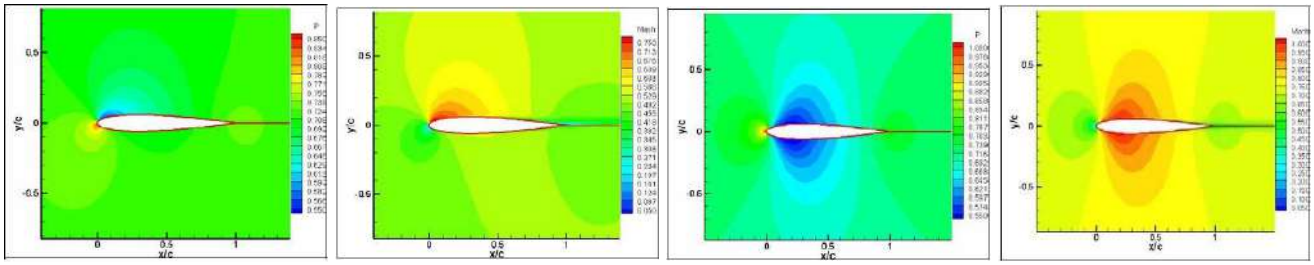
A Fig. 8 mostra os contornos de velocidade do caso 2, para os modelos de turbulência analisados.



Spalart-Allmaras | *k-ε* | *k-ω Standard* | *k-ω* SST

Figura 8. Contornos de velocidade para α = -0,14° e $M_\infty$ = 0,74

Na Fig. 9, para os dois casos em questão, são mostrados os contornos de pressão e velocidade obtidos por Souza (2009), através da implementação do modelo de turbulência Spalart-Allmaras.



(a) (b) (c) (d)

Figura 9. Contornos obtidos por Souza (2009):
(a) Contornos de pressão para α = 3,86° e $M_\infty$ = 0,50; (b) Contornos de velocidade para α = 3,86° e $M_\infty$ = 0,50;
(c) Contornos de pressão para α = -0,14° e $M_\infty$ = 0,74; (d) Contornos de velocidade para α = -0,14° e $M_\infty$ = 0,74

## 8. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisada por meio da simulação numérica a distribuição do coeficiente de pressão sobre aerofólio NACA 0012, em condições de escoamento bidimensional com regimes subsônico e transônico, utilizando diferentes modelos de turbulência. Comparando os dados obtidos nas simulações, se observou boa concordância entre os dados experimentais de Harris (1981) e os dados numéricos obtidos por Souza (2009), que utilizou o modelo de turbulência de uma equação de Spalart-Allmaras. Nas regiões próximas ao bordo de ataque, para os dois casos em questão, os dados numéricos de Souza (2009), ficam mais próximos dos dados experimentais de Harris (1981). Em contrapartida, se observa que a partir dos 30% da corda do aerofólio, os dados obtidos no presente trabalho praticamente coincidem com os dados experimentais de Harris (1981).

Em relação ao desempenho dos modelos de turbulência, os dados do coeficiente de pressão ficam muito próximos entre si, ficando difícil avaliar qual possuiu o melhor desempenho. No entanto, com o uso do modelo de turbulência *k-ω Standard*, para o caso 1, não foi possível obter o critério de convergência, previamente estabelecido em $1x10^{-5}$ para todas as propriedades, sendo então, interrompidos os cálculos após estabilização das curvas de erros residuais para valores um pouco abaixo de $1x10^{-3}$. Mesmo sem atingir o critério de convergência esperado, os dados obtidos com o uso deste modelo, ficaram muito próximos dos dados experimentais e dos dados obtidos por outros modelos de turbulência mais indicados para o tipo de escoamento estudado.

No presente estudo, como complemento aos trabalhos citados, se representou os efeitos físicos através dos contornos de pressão e contornos de velocidade em função do número de Mach, com o uso de diferentes modelos de turbulência. Tais efeitos corresponderam com a natureza do escoamento analisado e são compatíveis com os contornos apresentados por Souza (2009). Através destes resultados, se concluiu, que para os dois casos e com o uso de todos os modelos de turbulência testados, se obteve bons resultados, com a simulação numérica sendo capaz de representar os efeitos físicos envolvidos nas condições de escoamento estudadas.

## 9. REFERÊNCIAS

Ansys, Inc. ANSYS Fluent User's Guide, 2013.

Balen, A. D. C. Simulação numérica do escoamento ao redor de um perfil aerodinâmico hiper-sustentador Eppler 423. Trabalho de final de curso(Engenharia Mecânica) – Universidade Regional Integrada. Erechim, 2017.

Bardina, J. E.; Huang, P. G.; Coakley, T. J. Turbulence Modeling Validation, Testing, and Development. Ames Research Center: NASA, 1997. (NASA Technical Memorandum, No. TM 110446).

Favre, A. Équations des gaz turbulents compressible: 1. Formes générales, Journal de Mecanique, vol. 4, 1965, pp. 361-390.

Harris, C. D. Two-dimensional aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil in the langley 8-foot transonic pressure tunnel. Langley Research Center: NASA, 1981. (NASA Technical Memorandum, 81927).

Hinze, J. O. Turbulence, McGraw-Hill Book Co., New York, 1975.

Patankar, S. V. Numerical heat transfer and fluid flow. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1980.

Souza, M. A. S. F. Simulação numérica de escoamento sobre aerofólio utilizando modelo de turbulência de uma equação. 2009. 125 f. Tese de mestrado, Área de Aerodinâmica, Propulsão e Energia – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

Versteeg, H. K.; Malalasekera, W., An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Pearson Education Limited, London, 2007.

## 10. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO E DESEMPENHO AERODINÂMICO DO AEROFÓLIO NASA SC (2) - 0714 EM CONDIÇÕES CRIOGÊNICAS

**Leonardo Boff Breitenbach**
**Marco Antonio Sampaio Ferraz de Souza**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim
breitenbach.bleonardo@gmail.com; marco@uricer.edu.br

***Resumo.*** *Os aerofólios supercríticos são muito usados na aviação civil moderna. Estes aerofólios são capazes de melhorar o desempenho da aeronave através da redução do arrasto, que ocorre pelo atraso e suavização da onda de choque sobre a asa, em regimes de vôo transônico. Este trabalho tem como objetivo obter por meio da dinâmica dos fluidos computacional, curvas de distribuição do coeficiente de pressão sobre o aerofólio NASA SC (2) - 0714, em condições de elevados números de Reynolds e Mach e comparar estas curvas com dados obtidos experimentalmente em túnel de vento criogênico transônico, bem como analisar o desempenho e efeitos físicos que ocorrem sobre o aerofólio nestas condições. Foram realizadas simulações numéricas em 2D para 4 casos com número de Reynolds próximos a* $40x10^6$ *e ângulo de ataque 0°, variando o número de Mach em 0,70, 0,75, 0,746 e 0,76. Para avaliar o desempenho do aerofólio, foram obtidos os contornos de pressão e número de Mach, linhas de corrente e vetores de velocidade sobre o aerofólio, para o caso que apresentou as condições de escoamento mais críticas. Os resultados numéricos obtidos apresentam boa concordância com os dados experimentais e representaram os efeitos físicos como retratado na literatura apresentada.*

***Palavras-chave:*** *CFD, aerofólio supercrítico, distribuição do coeficiente de pressão, túnel de vento criogênico.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os aviões civis modernos são projetados com asas que incorporam seções de aerofólio supercrítico. Devido a sua forma, esse tipo de aerofólio permite que a aeronave chegue mais perto da velocidade do som sem esbarrar no grande aumento de arrasto transônico. Em relação a um aerofólio convencional, o aerofólio supercrítico também proporciona um projeto estrutural da asa mais simples, pois para uma determinada velocidade de cruzeiro, permite que a espessura do aerofólio seja maior, dessa forma resultando em uma asa mais leve mesmo sendo mais espessa e possibilitando ainda tanques de combustível com maior capacidade (ANDERSON, 2015).

Para a realização de estudos experimentais em torno de aerofólios supercríticos é necessário o uso de túneis de vento transônico, os quais são capazes de atingir elevados números de Mach. De acordo com Kilgore *et al*. (1974), para se atingir velocidades transônicas é necessário grande consumo de energia, dessa forma, razões econômicas dificultam o uso de túneis de vento para testes em escala real. Esse fato prejudica os estudos com uso dos convencionais túneis de vento transônico, pois devido à dimensão crescente das aeronaves, há uma grande dificuldade em se obter escoamentos com números de Reynolds próximos as condições reais de voo.

Conforme Rivers e Wahls (1994), com o surgimento de túneis de vento criogênicos, foi possível realizar estudos em aerofólios a partir de escoamentos com números de Reynolds tão altos quanto as condições reais de voo.

Com os recentes avanços da capacidade computacional, torna-se viável também, análises numéricas através da dinâmica de fluidos computacional. Contudo, essa técnica não é um substituto para a experimentação, mas sim uma poderosa ferramenta adicional de resolução de problemas. Para validar os resultados numéricos de forma significativa, é necessário produzir dados experimentais de alcance semelhante ao problema estudado (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

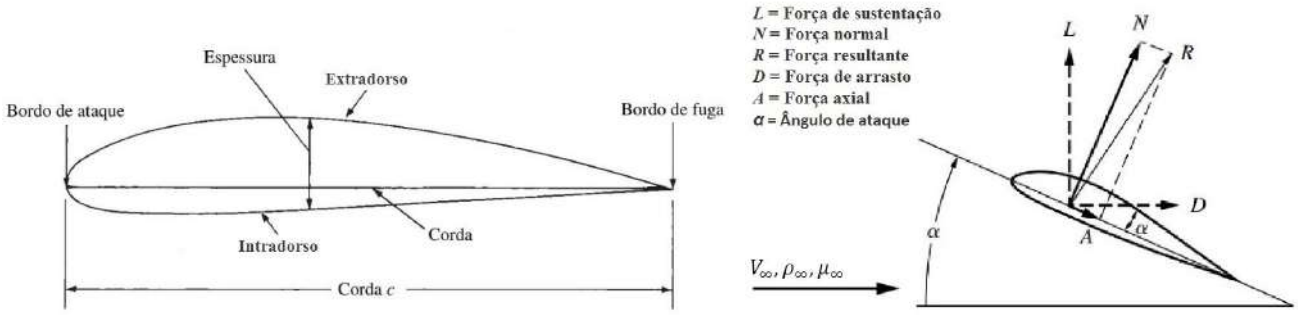
A fim de estudar o desempenho e a distribuição de pressão do aerofólio supercrítico NASA SC (2) – 0714, foram simulados em duas dimensões, 4 casos de escoamentos com elevados números de Mach e Reynolds. Para isso foram reproduzidas por meio da simulação numérica, condições usadas em testes deste aerofólio no túnel de vento criogênico transônico de 0,3 metros da NASA e descritas por Jenkins, Hill e Ray (1988). Conforme esses autores, durante o período dos experimentos, o túnel de vento utilizado se caracterizava por possuir escoamento contínuo, sendo acionado por ventilador, utilizando gás nitrogênio como meio de teste, sendo capaz de operar em uma faixa de número de Mach variando de 0,2 a 0,9, com temperaturas de estagnação de 78 K a 327 K e pressões de estagnação variando de

aproximadamente 1 atm até 6 atm. A capacidade desse túnel de vento em operar a temperaturas criogênicas combinada com a capacidade de pressão de 6 atm proporciona elevados números de Reynolds.

As soluções numéricas obtidas neste trabalho foram comparadas com os resultados experimentais da distribuição do coeficiente de pressão obtidos por Jenkins, Hill e Ray (1988). Para analisar o desempenho deste aerofólio foram obtidos por meio de simulação numérica os contornos de pressão e número de Mach em torno do aerofólio, bem como a direção dos vetores de velocidades sobre o mesmo. As simulações dos três primeiros casos, foram realizadas para números de Reynolds próximos a $40x10^6$ e o ângulo de ataque 0°, variando o número de Mach em 0,70, 0,75, e 0,76. O quarto caso, foi apresentado como uma correção às interferências do fluxo com as paredes do túnel, para as condições de escoamento apresentadas no caso 3, o que resultou na variação do ângulo de ataque e número de Mach, os quais assumiram os valores de -1,0664° e 0,746 respectivamente.

## 2. FORMULAÇÃO TEÓRICA

O estudo de um aerofólio inicia-se identificando suas partes, conforme a Fig. 1a, bem como os pontos onde ocorrem medições do ângulo de ataque e as forças que atuam sobre o mesmo, conforme a Fig. 1b.




(a) (b)

Figura 1. (a) Nomenclatura do aerofólio; (b) Forças atuantes no aerofólio (Adaptado de ANDERSON, 2015)

Se tratando da aerodinâmica de aerofólios, o número de Reynolds e o número de Mach são dois parâmetros adimensionais de grande importância. De acordo com Rodrigues (2015), o número de Reynolds, $R_e$ é um parâmetro usado para se avaliar o regime do escoamento de determinado fluido sobre uma superfície, sendo utilizado, por exemplo, em projetos de tubulações e asas de aviões. O significado físico do número de Reynolds implica na razão entre as forças de inércia e as forças viscosas. Para aplicações em aerofólios, o número de Reynolds pode ser representado em função da corda do aerofólio da seguinte forma:

$$R_e = \frac{\rho_\infty V_\infty c}{\mu_\infty} \tag{1}$$

onde $\rho_\infty$ é a massa específica do fluido na corrente livre em [$kg/m^3$], $V_\infty$ é a velocidade da corrente livre em [$m/s$], $c$ é a corda do aerofólio em [$m$] e $\mu_\infty$ é a viscosidade dinâmica do fluido na corrente livre em [$Ns/m^2$].

Através do número de Reynolds pode-se caracterizar o regime de escoamento entre laminar ou turbulento. O escoamento laminar ocorre em baixos números de Reynolds, onde as forças viscosas são dominantes, sendo caracterizado pelo movimento suave e constante do fluido, já o escoamento turbulento ocorre para altos números de Reynolds e é dominado por forças inerciais, que tendem a produzir redemoinhos caóticos, vórtices e instabilidades (DOLE *et al*., 2017).

Conforme Rodrigues (2015), com o uso do número de Reynolds pode se prever o comportamento de sistemas reais, pelo uso de modelos reduzidos, como é o caso de testes em túnel de vento, onde se mede forças relacionadas ao escoamento em modelos de asas de avião em escala reduzida. No estudo do escoamento sobre asas de aviões, o escoamento se torna turbulento para números de Reynolds da ordem de $1X10^7$, abaixo deste valor geralmente o escoamento é laminar.

Outro parâmetro importante no estudo da aerodinâmica é o número de Mach. Sendo este definido pela razão entre a velocidade local do escoamento $V$ e a velocidade do som $a$ representado por:

$$M = \frac{V}{a} \tag{2}$$

A partir do número de Mach pode-se definir alguns diferentes tipos de escoamento aerodinâmico. Quando M < 1, o escoamento é classificado como subsônico, quando M = 1, o escoamento é sônico, já quando M > 1, o escoamento é considerado supersônico. Um escoamento ainda pode ser definido como transônico quando (0,8 < M < 1,2), e como hipersônico quando M > 5, no entanto estas duas últimas definições não são tão precisas quanto às três primeiras, pois dependem de outros conjuntos de fenômenos aerodinâmicos além do número de Mach (ANDERSON, 2015).

Além dos números adimensionais citados, na aerodinâmica também são usados coeficientes aerodinâmicos, sendo os mais comuns o coeficiente de sustentação $C_l$, e o coeficiente de arrasto $C_d$. Para o caso de aerofólios estes dois coeficientes podem ser expressos respectivamente por:

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 S} \tag{3}$$

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 S} \tag{4}$$

onde $S$ é a área de referência em $[m^2]$, $L$ e $D$ são as forças de sustentação e arrasto respectivamente em $[N]$. Essas duas forças são componentes da força resultante $R$, conforme representa a Fig. 1b.

De acordo com Anderson (2015), outra grandeza adimensional utilizada na aerodinâmica de aerofólios é o coeficiente de pressão $C_p$. Ao invés de se representar a distribuição de pressão com unidades, pode-se defini-la por meio do coeficiente de pressão, adimensional, sendo este representado por:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2} \tag{5}$$

em que $p$ é a pressão estática do fluido e $p_\infty$ é a pressão da corrente livre, ambos em $[Pa]$.

Por convenção, gráficos representativos do coeficiente de pressão $C_p$ para aerofólios, geralmente trazem os valores negativos acima da abscissa. Através da Fig. 2, nota-se que no bordo de ataque do aerofólio, o $C_p$ é positivo, pois $p > p_\infty$, porém à medida que o escoamento se aproxima do bordo de fuga na superfície superior do aerofólio, $p$ diminui rapidamente e $C_p$ assume valores negativos nas regiões onde $p < p_\infty$.

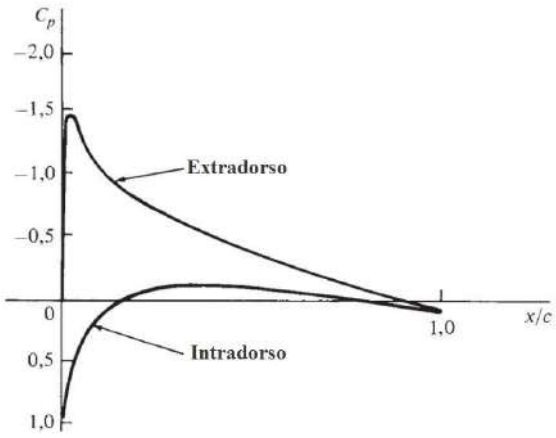



Figura 2. Gráfico representativo do coeficiente de pressão $C_p$ (ANDERSON, 2015)

A velocidade de um escoamento aumenta à medida que se desenvolve sobre a superfície de uma asa, então o número Mach local no topo da asa é sempre maior que o número de Mach da corrente livre, $M_\infty$. Por exemplo, se uma aeronave estiver voando a $M_\infty$ = 0,50, a velocidade local pode ser $M$ = 0,70 no ponto mais espesso da asa (dependendo da espessura e ou da curvatura do aerofólio). Esse caso está representado na Fig. 3a. Se $M_\infty$ aumentar, a velocidade local no topo da asa também aumentará, em determinado $M_\infty$, a velocidade máxima local atingirá a velocidade sônica, $M$ = 1,0. Esse número de $M_\infty$, é chamado de número de Mach crítico, $M_{cr}$. Para o exemplo mostrado na Fig. 3b, $M_{cr}$ é igual a 0,72. Uma vez ultrapassada o $M_{cr}$, a aeronave está voando na faixa de velocidade transônica e um novo conjunto de forças de arrasto e aerodinâmicas deve ser considerado, quando esse for o caso uma onda de choque normal é formada como mostrado na Fig. 3c. Esta onda de choque está presente onde a velocidade do escoamento diminui de supersônica para subsônica (DOLE *et al*., 2017).

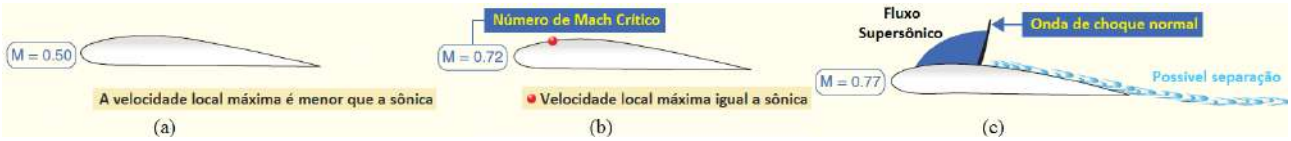



Figura 3. (a) Mach local < 1; (b) Mach local = 1; (c) Mach local >1 (Adaptado de DOLE et al., 2017)

Conforme Anderson (2015), o número de Mach crítico do aerofólio, $M_{cr}$ é um parâmetro de grande importância, pois se o $M_\infty > M_{cr}$, o aerofólio é submetido a um aumento drástico de arrasto. Para $M_\infty < M_{cr}$, o coeficiente de arrasto do aerofólio $C_d$ é praticamente constante. Esse caso está representado no ponto (*a*) da Fig. 4, onde $M < 1$ em todas regiões do escoamento. Conforme $M_\infty$ aumenta para valores acima de $M_{cr}$, surge uma região de escoamento supersônico ao redor do ponto de menor pressão no aerofólio, enquanto isso, $C_d$ permanece relativamente baixo conforme o ponto (*b*) na Fig. 4. Porém se $M_\infty$ aumenta ainda mais, ocorre um aumento súbito no coeficiente de arrasto, como representado no ponto (*c*) da Fig. 4.

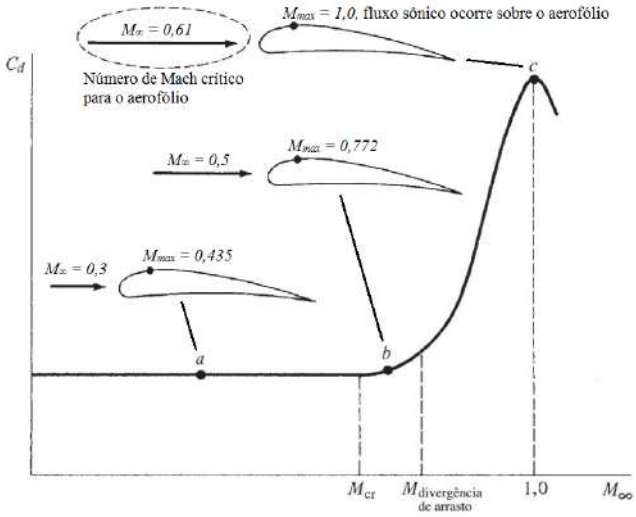



Figura 4. Variação do coeficiente de arrasto em função do número de Mach (Adaptado de ANDERSON, 2015)

Segundo Anderson (2015), as ondas de choque são por si só fenômenos dissipativos que aumentam o arrasto sobre o aerofólio, mas além disso, o aumento de pressão súbito através das ondas de choque, também dá origem a um forte gradiente de pressão adverso, permitindo que o escoamento se separe da superfície do aerofólio. Essa separação do escoamento pode criar aumentos significativos de arrasto. O aumento súbito de $C_d$ mostrado na Fig. 4, é um efeito combinado das ondas de choque e da separação do escoamento. O número de Mach de corrente livre em que $C_d$ começa a aumentar rapidamente é definido como número de Mach de divergência de arrasto. Através de uma breve análise da Fig. 4, nota-se que:

$$M_{cr} < M_{divergência\ de\ arrasto} < 1{,}0 \tag{6}$$

Quando se trata do aerofólio existem duas opções para evitar o grande aumento de arrasto sônico e assim se aproximar de Mach 1. A primeira delas é tornar o aerofólio mais fino e a segunda usar um aerofólio supercrítico. Tais opções podem ser usadas em conjunto ou separadamente (ANDERSON, 2015).

Conforme Anderson (2015), quanto mais fino for o aerofólio maior será o seu $M_{cr}$, o que na maioria das vezes também implica em um aumento no número de Mach de divergência de arrasto. Isso significa que um avião transônico com aerofólio mais fino pode voar a um número de Mach maior antes de esbarrar na divergência de arrasto.

O aerofólio supercrítico atinge o mesmo efeito de aumento no número de Mach de divergência de arrasto, porém de forma diferenciada. Para tal, esse tipo de aerofólio é projetado com a superfície superior relativamente plana, conforme mostra a Fig. 5. Quando o número de Mach da corrente livre excede $M_{cr}$, surge uma região de escoamento supersônico sobre a superfície superior, como o normal, porém como essa superfície é relativamente plana, o número de Mach supersônico local tem um valor menor do que seria no caso de um aerofólio convencional. Como resultado, a onda de choque que termina a região de escoamento supersônico é mais fraca. Isso possibilita ao aerofólio supercrítico penetrar mais próximo de Mach 1 antes que a divergência de arrasto ocorra. Em relação a um aerofólio convencional, o aerofólio

supercrítico proporciona melhores condições em escoamentos acima de $M_{cr}$. Devido a isso, esses aerofólios são usados para voos de cruzeiro em amplitudes de números de Mach acima de $M_{cr}$ (ANDERSON, 2015).

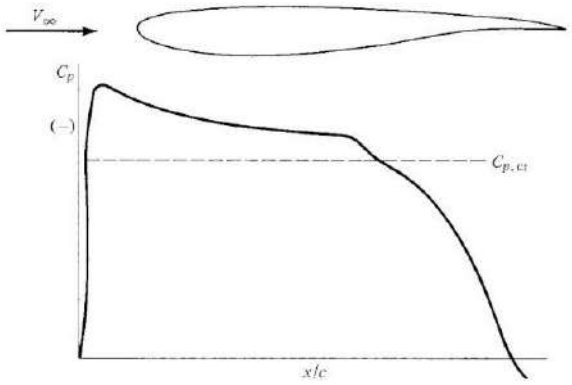


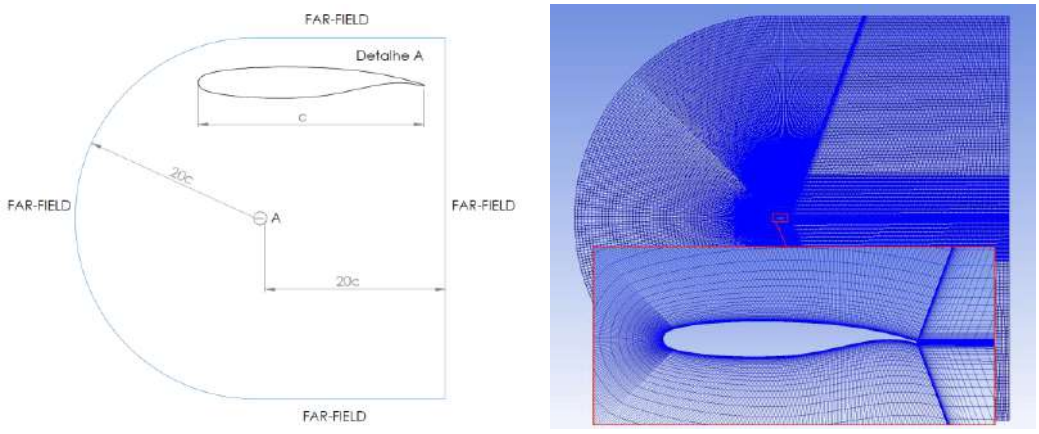

Figura 5. Formato de um aerofólio supercrítico típico e sua distribuição do $C_p$ sobre o extradorso (ANDERSON, 2015)

Segundo Anderson (2015), ao contrário de um aerofólio convencional, o aerofólio supercrítico voando acima de $M_{cr}$, porém abaixo de Mach de divergência de arrasto, após sofrer uma redução súbita de pressão em torno do bordo de ataque, a pressão permanece praticamente constante sobre grande parte da superfície superior do aerofólio, conforme representado na Fig. 5.

Os aerofólios supercríticos são empregados visando permitir uma velocidade de cruzeiro mais elevada para determinada espessura de aerofólio, ou ainda para uma determinada velocidade de cruzeiro menor, permite que a espessura do aerofólio seja maior. Esta segunda opção traz vantagens referentes ao projeto, pois o projeto estrutural de uma asa mais espessa é mais simples, resulta em uma asa mais leve ainda que mais espessa e devido ao maior volume, também permite o uso de tanques de combustível com maior capacidade.

## 3. MODELO, DOMÍNIO COMPUTACIONAL E CONDIÇÕES DE CONTORNO

O modelo utilizado neste estudo foi o aerofólio supercrítico NASA SC (2) – 0714. Este aerofólio é constituinte da segunda fase de desenvolvimento de aerofólios supercríticos da NASA, apresenta uma espessura de 14% da corda e um coeficiente de sustentação de projeto de 0,7. Para o presente estudo o aerofólio foi configurado com 152,4 *mm* de corda, da mesma forma em que no experimento utilizado para comparação dos resultados. O domínio computacional foi modelado em uma malha do tipo C, onde todas as fronteiras se distanciam a 20 cordas da superfície do aerofólio. Para as fronteiras do domínio foi utilizada a condição de contorno de fronteira remota (*FAR-FIELD*), e para a parede do aerofólio, condição de parede estacionária sem deslizamento. A malha foi criada através do *software* ICEM, onde se buscou manter a melhor relação entre o custo computacional e a acurácia, resultando em uma malha estruturada com 154047 elementos, onde a primeira camada se encontra a $1\times10^{-6}$ *m* de distância da superfície do aerofólio, sendo aproximadamente ao que corresponde a uma unidade da camada de parede viscosa ($y^+ \cong 1$), para todos os casos estudados. O domínio computacional e a malha estão mostrados respectivamente na Fig. 6a e Fig. 6b.




(a) (b)

Figura 6. (a) Domínio computacional; (b) Malha

## 4. MÉTODO NUMÉRICO

Na modelagem deste estudo numérico foram utilizadas as equações de Navier-Stokes com média de Reynolds (RANS). A solução destas equações foi realizada pelo método dos volumes finitos com o uso do *software* ANSYS Fluent 19,2 em sua versão acadêmica. Neste *software* foi utilizado o algoritmo baseado em densidade (*Density-Based*), através de uma formulação implícita acoplada e com todos os esquemas de discretização espacial de segunda ordem. Para a modelagem da turbulência foi utilizado o modelo *k-ω* SST. O fluido de trabalho foi o ar, este considerado gás ideal e com sua viscosidade definida em função da temperatura através da lei de Sutherland. O critério de convergência numérica foi estabelecido para uma variação máxima de $1\times10^{-4}$ para todas as propriedades.

## 5. CONDIÇÕES INICIAIS

Para a validação do método numérico, nos três primeiros casos analisados, foram utilizados como condição inicial os mesmos dados dos testes em túnel de vento descritos por Jenkins, Hill e Ray (1988). Estas condições estão descritas na Tab. 1.

Tabela 1. Condições iniciais.

| *Nº Caso* | $M_\infty$ | $p_{estática}$ *[Pa]* | $T_{estática}$ *[K]* | *Re* | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,70 | 445401 | 99,96 | ≈40x10$^6$ | 0° |
| 2 | 0,75 | 431611 | 100,78 | | 0° |
| 3 | 0,76 | 425130 | 100,17 | | 0,02° |
| 4 | 0,746 | 431611 | 100,78 | | -1,0664° |

## 6. RESULTADOS

Os resultados numéricos obtidos no presente trabalho são apresentados e comparados na forma de curvas da distribuição do coeficiente de pressão $C_p$, de cada caso analisado, como mostrado na Fig. 7.

Nota-se, que para os casos 1, 2 e 3, há uma discrepância entre os dados numéricos e experimentais na região do extradorso. Isso ocorre devido às interferências do escoamento de ar com as paredes do túnel de vento. Essas interferências influenciam nas condições de escoamento, no sentido de diminuir o número de Mach da corrente livre e alterar a direção do fluxo em relação ao aerofólio reduzindo o ângulo de ataque $\alpha$.

Conforme Rivers e Wahls (1994), para se obter resultados numéricos mais próximos dos experimentais, torna-se necessário realizar correções nas condições de escoamento, para $M_\infty$ e ângulo de ataque $\alpha$. No presente estudo, estas correções foram realizadas para as condições de escoamento do caso 3 e foram representadas no caso 4.

Para a correção de $M_\infty$, se utilizou o trabalho de Jenkins e Adcock (1986), onde são apresentadas tabelas para correção do $M_\infty$, obtidos no túnel de vento criogênico transônico de 0,3 metros da NASA.

Através dessa correção se obteve $M_\infty$ = 0,746, este valor ficando próximo ao do caso 2. Dessa forma para a simulação do caso 4, foram utilizadas como aproximação, as condições de pressão estática e temperatura estática descritas no caso 2.

Para a correção do ângulo de ataque α, foi utilizada a equação apresentada por Barnwell (1978).

$$\Delta\alpha = -\frac{C_l c}{8(h + aK)}\frac{180}{\pi} \tag{7}$$

em que $h$ é a semi-altura do túnel $[m]$, $a$ é o espaçamento das ranhuras nas paredes do túnel $[m]$ e $K$ é o coeficiente de desempenho para as paredes do túnel com ranhuras. Através da correção do ângulo de ataque se obteve α = -1,0664°.

Os resultados das correções estão representados no caso 4 da Tab. 1.

Através da Fig. 7d, percebe-se, que com a correção das condições de escoamento, a distribuição do coeficiente de pressão representada no caso 4, fica muito próxima aos dados medidos experimentalmente.

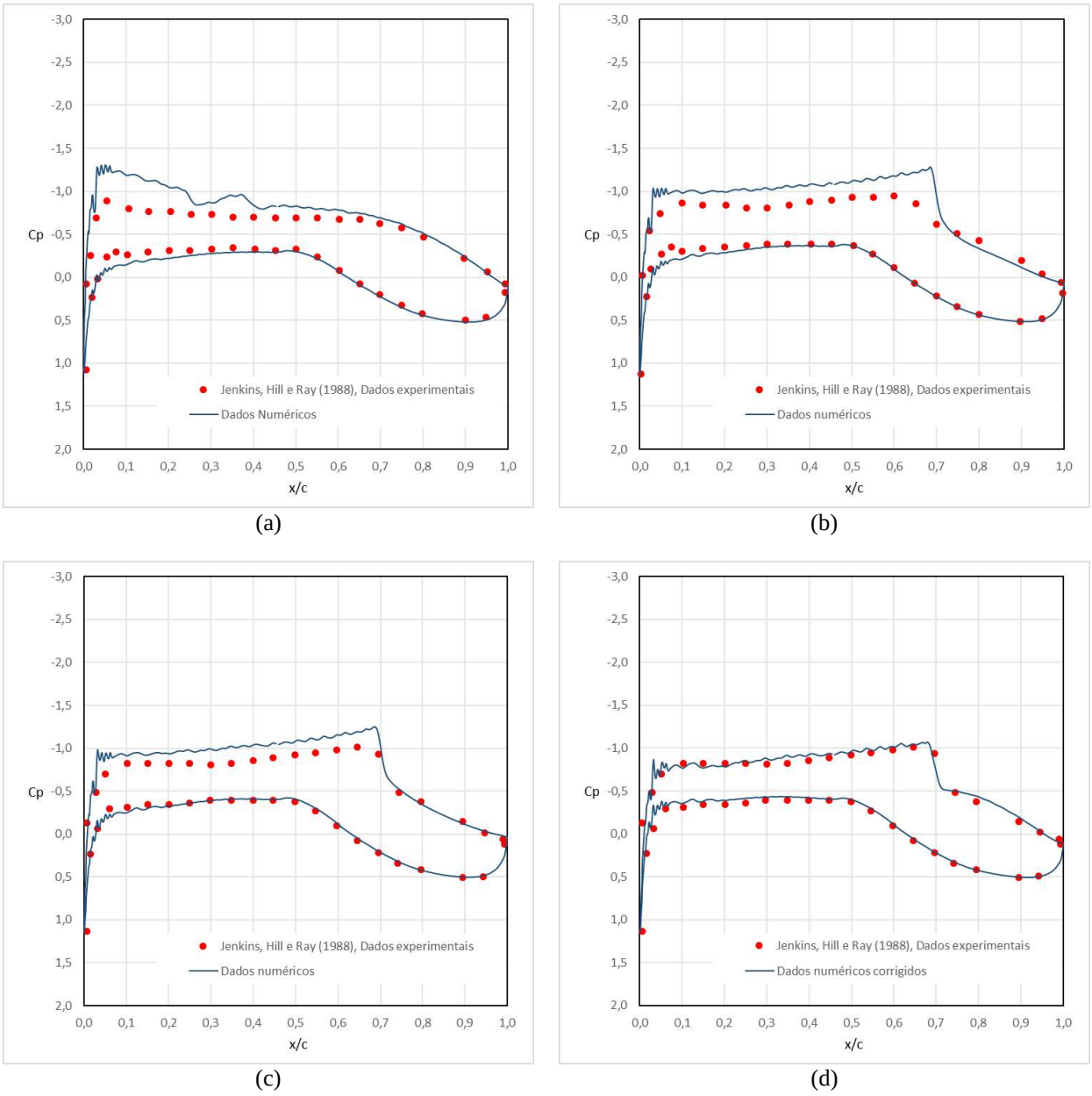



Figura 7. Distribuição do coeficiente de pressão $C_p$ (a) Caso 1; (b) Caso 2; (c) Caso 3; Caso 4

Para avaliar o desempenho do aerofólio, foi escolhido o caso 3, o qual apresenta as condições de escoamento mais críticas dentre os casos estudados. Com o uso do *software* de pós-processamento CFD *Post*, foram obtidos os contornos de pressão e número de Mach, bem como as linhas de corrente e a direção dos vetores de velocidade do escoamento sobre o aerofólio, como mostra a Fig. 8.

Através da Fig. 8a, nota-se uma diminuição de pressão na medida em que escoamento se desenvolve sobre o extradorso, até atingir um ponto de pressão mínima em aproximadamente 68 % da corda. De maneira contrária, se observa na Fig. 8b, em que o número de Mach aumenta sobre o extradorso do aerofólio até atingir o seu valor máximo no mesmo ponto em que a pressão é mínima. Após o escoamento atingir a velocidade máxima de $M$ = 1,3, na região seguinte ocorre uma diminuição drástica na velocidade. A fronteira onde ocorre essa mudança, representa a onda de choque sobre o extradorso do aerofólio.

Analisando as linhas de corrente na Fig. 8c, percebe-se uma perturbação no escoamento logo atrás da onda de choque. Observando a Fig. 8d, a qual representa a direção dos vetores de velocidade do escoamento, se identifica, na região atrás da onda de choque, um fluxo de sentido contrário ao escoamento. Conforme a teoria apresentada, essa condição de fluxo reverso, possui uma enorme contribuição ao aumento do coeficiente de arrasto $C_d$.

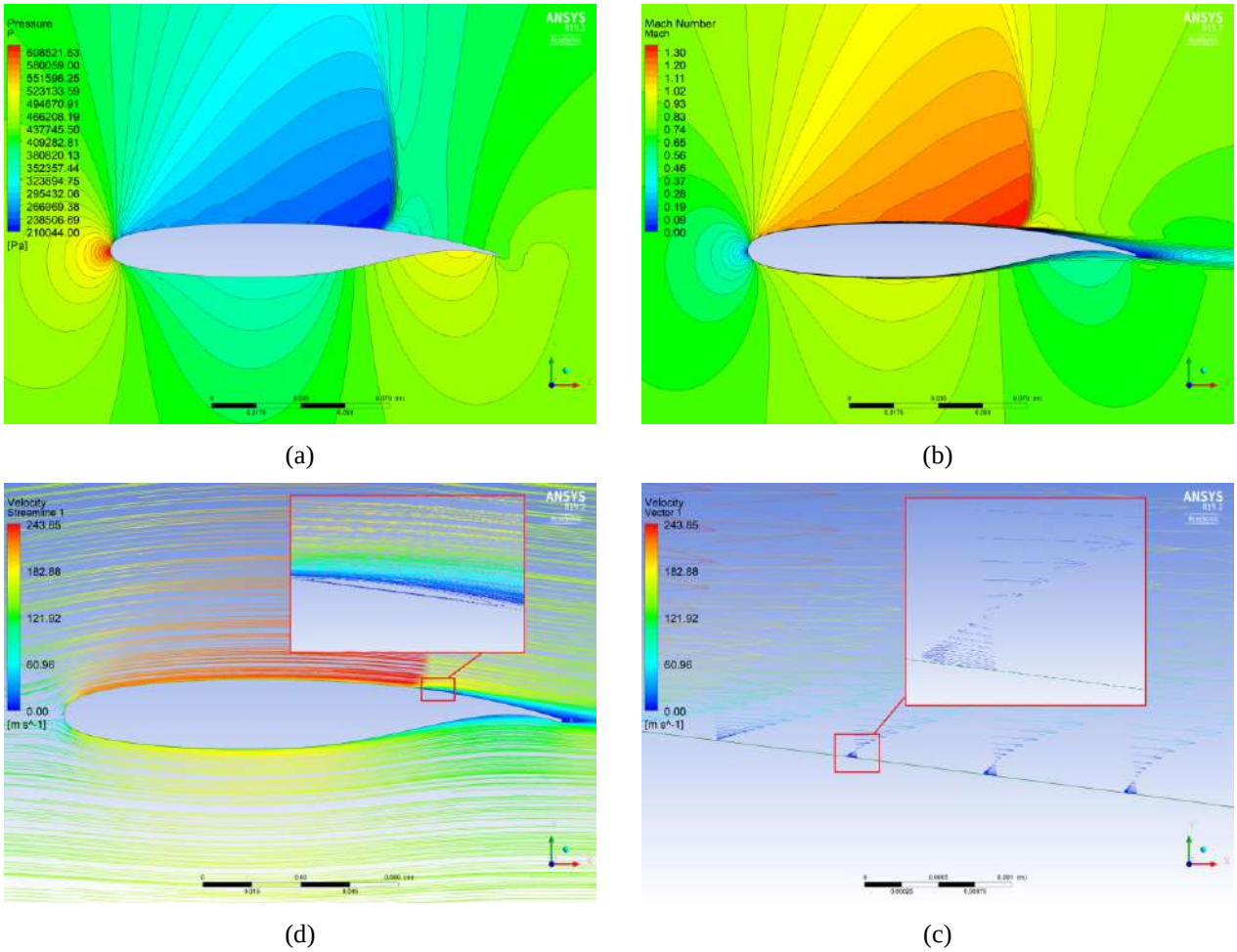



Figura 8. (a) Contornos de pressão; (b) Contornos de velocidade; (c) Linhas de corrente; (d) Vetores de velocidade

## 7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisada por meio de simulações numéricas bidimensionais, a distribuição do coeficiente de pressão sobre aerofólio NASA SC (2) – 0714, para condições de escoamento transônico em elevados números de Mach e Reynolds. Por meio destas simulações, nos casos 1, 2 e 3 se obteve alguma discordância entre os dados numéricos e experimentais, principalmente para a regiões sobre o extradorso do aerofólio. Com base no trabalho de Rivers e Wahls (1994), foi constatado que essa discordância, se deve às interferências de escoamento devido ao efeito de bloqueio das paredes do túnel de vento, sendo então necessário, realizar correções nas condições de escoamento para se obter resultados mais próximos dos experimentais. A correção foi realizada para o caso 3, e representada pelo caso 4. Como resultado dessa correção, tanto no extradorso quanto no intradorso do aerofólio, se obteve uma boa concordância entre os dados de distribuição do coeficiente de pressão, obtidos numericamente e os experimentais.

Através das curvas representadas na Fig. 7, é possível perceber que para todos os casos, houve variações sutis do coeficiente de pressão, sobre a maior parte do extradorso do aerofólio. Essa observação é coerente com a teoria apresentada, em relação a esse tipo de aerofólio.

A partir dos contornos de pressão apresentados na Fig. 8a, para o caso 3, foi possível observar que a mínima pressão sobre o extradorso do aerofólio, foi atingida em um ponto de aproximadamente 68 % da corda. Também se percebe que depois do ponto de pressão mínima ocorre um aumento súbito da pressão através da onda de choque. Conforme a teoria apresentada, esse efeito da origem a um gradiente de pressão adverso, o qual pode ocasionar a separação do escoamento sobre a superfície do aerofólio.

Analisando os contornos de velocidade mostrados na Fig. 8b, para o caso 3, nota-se que apesar do escoamento livre estar a uma velocidade de $M_\infty = 0{,}76$, sobre extradorso do aerofólio essa velocidade é muito maior, atingido um valor máximo de $M = 1{,}3$, sobre o ponto de pressão mínima. Com base na teoria apresentada, pode se afirmar que para as condições do caso 3, o aerofólio ultrapassou o $M_{cr}$.

Através das linhas de corrente mostradas na Fig. 8c, se identificou uma pequena região de recirculação do escoamento logo atrás da onda de choque sobre o extradorso do aerofólio. Observando os vetores de velocidade do escoamento mostrados na Fig. 8d, é possível identificar melhor a existência de um fluxo reverso.

Por meio das observações realizadas a partir dos resultados obtidos no presente estudo, pode-se evidenciar todos os efeitos físicos relatados na teoria.

Em relação ao método numérico utilizado, conclui-se que o mesmo possui validade para a presente análise, sendo capaz de representar todos efeitos físicos envolvidos nas condições de escoamento estudadas.

## 8. REFERÊNCIAS

Anderson Jr, J. D. Fundamentos de Engenharia Aeronáutica, 7ª ed., AMGH, Porto Alegre, 2015.

Barnwell, R. W. Design and performance evaluation of slotted walls for two-dimensional wind tunnels. Langley Research Center: NASA, 1978. (NASA Technical Memorandum, 78648).

Dole, C. E.; Lewis, J. E.; Badick, J. R.; Johnson, B. A. Flight theory and aerodynamics: A practical guide for operational safety, 3ª ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2017.

Jenkins, R. V.; Adcock, J. B. Tables for correcting airfoil data obtained in the Langley 0,3-meter transonic cryogenic tunnel for sidewall boundary-layer effects. Langley Research Center: NASA, 1986. (NASA Technical Memorandum, 87723).

Jenkins, R. V.; Hill, A. S.; Ray, E. J. Aerodynamic performance and pressure distributions for a NASA SC (2)-0714 airfoil tested in the Langley 0,3-meter transonic cryogenic tunnel. Langley Research Center: NASA, 1988. (NASA Technical Memorandum, 4044).

Kilgore, R. A.; Goodyer, M. J.; Adcock, J. B.; Davenport, E. E. The cryogenic wind-tunnel concept for high Reynolds number testing. Langley Research Center: NASA, 1974. (NASA Technical Memorandum, D-7762).

Rivers, M. B.; Wahls, R. A. Comparison of computational and experimental results for a supercritical airfoil. Langley Research Center: NASA, 1994. (NASA Technical Memorandum, 4601).

Rodrigues, L. E. M. J. Fundamentos da engenharia aeronáutica. Cengage Learning, São Paulo, 2015.

Versteeg, H. K.; Malalasekera, W., An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method. Pearson Education Limited. London, 2007.

## 9. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO E ANÁLISE DE UMA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI

**Lucas Langaro**
**Rubens Stuginski Jr**
**Marcio Walber**
BR-285, São José, Passo Fundo/RS
148120@upf.br, rubens@upf.br, mwalber@upf.br.

***Resumo:*** *Turbinas hidráulicas de baixa potência são importantes para geração de energia elétrica em locais que não são atendidos pelas redes públicas de distribuição de energia. Se nesses locais havendo disponibilidade, é possível utilizar a energia hidráulica de cursos de rios (e/ou riachos) para acionar pequenas turbinas hidráulicas que podem gerar energia elétrica, mitigando, assim, essa deficiência. Neste trabalho buscar-se-á realizar o projeto, a construção de uma turbina tipo Michell-Banki para operar com potência entre 500 W e 1000 W. Aqui estão detalhados os procedimentos que serão utilizados para a realizar com sucesso este trabalho, desde os cálculos, projeto até a montagem do protótipo da turbina em acrílico, para então análise da geometria construida.*
***Palavras chave:*** *geração; energia; turbina; hidroelétrica.*

## 1. INTRODUÇÃO

As turbinas hidráulicas têm como objetivo transformar a energia do fluxo de água em energia elétrica, para que isso possa ocorrer se faz necessário a implantação de uma hidrelétrica, podendo variar seu tamanho e capacidade de produção de energia.

No início para bombeamento de água para uma altura além das margens dos rios eram utilizados sistemas de bombeamento acionados por energia mecânica animal, ou seja, movimentados a partir do trabalho gerado por um animal, podendo ser tanto bois, cavalos, burros, até durante uma parada do sistema percebeu-se que com a parada brusca dos animais, o sistema girava no sentido contrário, descobrindo assim que as massas de água, com o seu movimento podiam gerar energia, não havendo necessidade de continuar utilizado a força animal para produzir energia.

Após a descoberta da possível utilização do fluxo de água para geração de energia, foram criadas as rodas d'água, que simplesmente eram rodas com grandes dimensões que possuíam inúmeras pás em seu perímetro, essas pás armazenavam água e então giravam a roda, que por sua vez acionava o sistema de bombeamento que estava acoplado.

Com a possível utilização da energia de fluxo da água foi então pensado que poderia ser utilizado para geração de energia, primeiramente utilizando rodas d'água para movimentar o sistema gerador de energia, que é acionado pela rotação de seu eixo, esse acionamento é dado por um sistema de polias e correias.

Com a necessidade de maiores produções de energia foram aprimorados o método de coleta de energia da água, substituindo a roda d'água por turbinas, que por sua vez possuem uma maior eficiência e também maiores capacidades de captar a energia do fluxo de água e transformar em energia mecânica.

Os sistemas de bombeamento por meio da roda d'água ainda são utilizados em algumas residências, muitas vezes não por necessidade, mas por motivos estéticos.

No mercado existem diversos modelos de turbinas, cada uma delas tem suas características especiais, o que definem em quais circunstância e locais elas oferecem seu melhor desempenho, podendo variar por exemplo, turbinas que trabalhem com pressões mais elevadas e menores fluxos de água, até turbinas que necessitam de fluxos de água consideravelmente altos e que por sua vez não necessitam da força gerada pela diferença de pressão, mas também existem turbinas que trabalham em situações não aplicáveis com esses extremos, mas sim com a combinação da força gerada pela diferença de pressão do fluido e também pela força gerada pela vazão desse mesmo fluido.

A turbina tipo fluxo cruzado chamada Michell-Banki, trabalha com mínimas diferenças de pressões geradas pelo fluido, mas, em contrapartida, necessita de uma vazão maior para obter a energia necessária para movimentar a unidade geradora. O seu oposto pode-se colocar a turbina Pelton, ela que por sua vez necessita de altíssimas pressões e diferente da Banki,

precisa de pouca vazão de fluido, já que a força que faz com que o seu eixo seja rotacionado é causada pelos jatos de alta pressão.

Desse modo viu-se a necessidade da então elaboração do presente trabalho com o intuito de evidenciar os procedimentos e o funcionamento de uma turbina tipo Michell-Banki, pensando nisso, pensando nisso durante o desenvolvimento do estudo, foram apresentados os cálculos para elaboração do projeto e possibilitando assim a montagem de um protótipo com dimensões

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Turbina Michell-Banki

A turbina Michell-Banki, é uma turbina de fluxo cruzado, inventada pelo engenheiro Antony George Maldon Michell, ao qual deu o nomeou a turbina com parte de seu nome. A turbina foi inventada por Michell em 1903 e posteriormente em 1918 outro pesquisador, um professor húngaro chamado Donat Banki cria um protótipo e otimiza o funcionamento da turbina de fluxo cruzado criada por Michell.

A turbina Banki, é uma turbina de ação com fluxo cruzado ou também chamada de fluxo transversal. A turbina é de construção relativamente simples, como pode ser verificado na Figura 1, sendo dividida principalmente nas seguintes partes: carcaça, distribuidor, rotor, tampa, tubo de admissão e tubo de sucção.

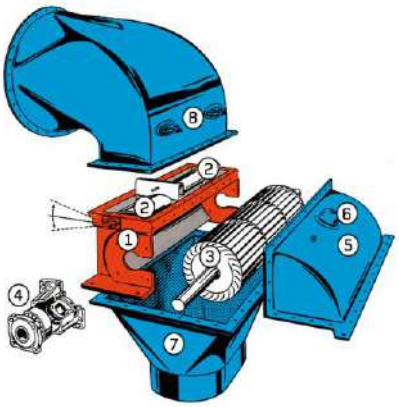



Figura 1. Turbina Michell-Banki
Fonte: Adaptado de (JUNIOR, 2000)

Os números apresentados na Figura 1 descrevem os seguintes componentes:

1- Carcaça; 2- Distribuidor; 3- Rotor; 4- Mancal e Rolamento; 5- Tampa; 6- Respiro; 7- Tubo de Sucção; 8- Tubo de Admissão.

O distribuidor é como se fosse os injetores dos outros modelos de turbinas, que tem como função regular o fluxo de água, acelerando-o ou desacelerando-o e também orientando o fluxo até as pás do rotor. A turbina Banki começa a funcionar a partir de qualquer fluxo de água que entra no sistema de movimentação da turbina.

A turbina é indicada para trabalhar em quedas que variam de 1 m até 200 m, ou seja, é uma turbina que não necessita de altas pressões para gerar energia, as vazões de trabalho podem varia desde em turbinas pequenas com 0,025 m³/s até 13 m³/s em turbinas de porte maior, a turbina de fluxo cruzado tem larga aplicação além de seu custo relativamente baixo em comparação com os outros modelos de turbinas e também por sua manutenção de baixo custo, pois suas peças não possuem grande complexidade em sua produção e não exigem materiais especiais. Em casos onde a turbina Banki é produzida na própria residência em que será utilizada sua energia (JUNIOR, 2000).

Os modelos mais modernos apresentados pelos fabricantes de turbina Ossberger e CNIK alcançam valores de diâmetro de 1 m com largura de 3,0 m do rotor e podem produzir em torno de 2000 kW de energia com eficiências que podem chegar a 90%. A largura do rotor pode ter o comprimento que se desejar, podendo ser elaborados de acordo com a necessidade do consumidor e o rendimento padrão dessa turbina é de 85% (JUNIOR, 2000).

Quantz (1960) menciono que os primeiros protótipos construídos foram produzidos em conjunto com Richard Ossberger de Weissenburg, esses protótipos construídos possuíam as seguintes variações de diâmetros 300 mm, 400 mm, 500 mm e 600 mm.

As aplicações das turbinas de fluxo cruzado é onde o acesso às redes convencionais de eletricidade se torna inviável devido ao custo elevado, uma central hidrelétrica pequena utilizando uma turbina Michell-Banki pode gerar energia tanto para uma casa quanto para um pequeno vilarejo.

## 3. METODOLOGIA

Para dimensionamento de uma turbina se faz necessário o conhecimento de alguns dados de entrada, que no caso desse projeto seriam, a vazão de água que possui no ambiente onde se deseja instalá-la, a altura de queda de água disponível ou que se possa ser obtidas com algumas alterações no local em que se espera instalar a turbina, desse modo, pode-se determinar o tamanho da turbina que se deseja, variando conforme a potência que se queira obter.

Para determinar a potência da turbina com os dados que se possui é necessário dimensionar o rotor, que é onde ocorre a transformação da energia do fluido em energia mecânica no eixo do rotor, essa energia é a potência turbinável que será transmitida para o gerador de energia.

As equações que serão apresentadas são em sua maioria baseadas no estudo da equipe da OLADE (1988), que com base teórica e experimental elaboraram um conjunto de equações a fim de padronizar as turbinas do tipo Michell-Banki, além do estudo da equipe OLADE, para a elaboração e dimensionamento da turbina Banki também será utilizado algumas definições e equações definidas pelo engenheiro Júnior (2000).

Para iniciar o dimensionamento se faz necessário a obtenção e/ou determinação de algumas grandezas e informações.

Aseguir estará a primeira etapa, que consiste em calcular a potência na turbina. A potência da turbinável pode ser definida pela equação (3.1)

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_g \cdot \eta_{tr}} \tag{3.1}$$

De modo que, Pg = potência máxima gerada pelo gerador; ηg é rendimento do gerador ~93%; ηtr é rendimento da transmissão ~100% (sistema não definido, será corrigido posteriormente durante o projeto).

Para determinar os valores da quantidade de fluido que será necessário para que a turbina operando entregue a potência final esperada são necessários alguns dados do ambiente, como a altura de queda de água. Durante o estudo de (CARLOS HERNANDEZ, ENRIQUE 7 INDACOCHEA, RAFAEL PARDO GOMES, 1988), ele define que a altura útil de queda de água pode ser encontrada a partir da seguinte equação.

$$H_u = H_t - (1 - K_c)H_t \tag{3.2}$$

De modo que, Ht é Altura total de queda de água em metros; Kc é Coeficiente de perda de pressão no injetor, cujo valor varia entre 0,97 e 0,98;

Com a altura útil definida, pode-se então calcular qual será a vazão necessária para a quando a turbina esteja trabalhando em plena carga. Para calcular a vazão é utilizada a seguinte equação.

$$Q = \frac{P_t}{9{,}807 \cdot H_u \cdot \eta_T} \tag{3.3}$$

Sendo, Q é vazão em m³/s; Pt é a potência turbinável em kW; Hu é a altura útil de queda de água; ηT é o rendimento da turbina ~80%.

Com a equação da acima apresentada pode-se encontrar então a vazão de água quando a turbina está em plena carga. Essa equação também pode ser utilizada quando é conhecida a vazão e se necessita descobrir qual será a potência turbinável, sendo necessário apenas uma reorganização da equação.

O próximo passo é calcular a rotação do eixo do rotor que será gerada, para isso será utilizada a altura útil de queda da água, a qual já foi calculada anteriormente, bem como definir um diâmetro para o rotor, não existe uma regra no diâmetro do rotor, podendo variar de acordo com o projeto. O estudo realizado pela equipe da OLADE, definiram alguns diâmetros padrões que partiam de 300 mm até 600 mm, variando entre cada diâmetro 100 mm.

Para calcular a rotação no eixo da turbina será utilizado a equação dada pelo livro da OLADE.

$$N = \frac{39{,}85 H_u^{1/2}}{D_e} \tag{3.4}$$

De modo que, N é a rotação do eixo em revoluções por minuto; Hu é a altura útil de queda d'água em metros; De é o diâmetro externo do rotor em metros.

Com essa equação pode-se definir a rotação do eixo da turbina em plena carga, a rotação encontrada será utilizada para definir a componentes que serão acoplados a turbina, como por exemplo o sistema de transmissão da turbina até o gerador, mancais, entre outros, além disso, a rotação encontrada é necessária para verificar se diâmetro escolhido está dentro dos valores ideais para o bom funcionamento, essa verificação pode ser realizada com a equação da rotação específica em função da vazão.

$$N_q = N\frac{Q^{1/2}}{H_u^{3/4}} \tag{3.5}$$

Onde, Nq é a rotação específica em função da vazão; N é a rotação do eixo em rpm; Q é a vazão de água na saída do injetor em m³/s; Hu é a altura útil de queda de água em metros.

Após verificar se a rotação específica em função da vazão está dentro do range de aplicação pode-se confirmar que o diâmetro externo do rotor anteriormente definido pode ser utilizado. O range da rotação específica também foi tomado como base no livro de Carlos Hernandez (1988), a faixa apresentada de rotação específica em função da vazão fica entre 18 e 60.

O próximo passo para com o projeto do rotor da turbina é o dimensionamento da largura do injetor. A largura do injetor pode ser definida pela fórmula abaixo.

$$B=\frac{0{,}96 \cdot Q}{D_e\sqrt{H}} \tag{3.6}$$

A equação acima (3.6) define a largura em metros do injetor da turbina, de modo que o injetor tem grande responsabilidade no funcionamento da turbina, o mesmo tem como função de regular a entrada de fluido no interior da turbina, além de direcioná-lo. Dependendo do tamanho da turbina Michell-Banki podem ser utilizados dois injetores, como definido no estudo realizado pelo grupo OLADE, onde um dos injetores regularia 1/3 da entrada de água na turbina e o outro 2/3 da entrada.

Com a largura do injetor definida o próximo passo é verificar o diâmetro necessário do eixo do injetor, para isso, primeiramente é necessário calcular o torque no eixo em questão, a fórmula utilizada será com base na encontrada no manual da OLADE (1988), apenas convertida para o padrão SI.

$$T=304{,}11 \cdot D_e \cdot Q\sqrt{H} \tag{3.7}$$

Onde T sendo o torque no eixo do injetor em N.m;

Com o torque calculado a partir da equação acima, a etapa seguinte é determinar o diâmetro mínimo do eixo do injetor, para isso, será utilizado uma equação adaptada do livro da equipe da OLADE (1988), a qual está representada abaixo.

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \cdot S_d}} \tag{3.8}$$

De modo que, di é o diâmetro mínimo do eixo do injetor em metros; d é a tensão limite disponível em MPa.

A tensão limite disponível para o calcular o diâmetro do eixo, de acordo com o manual da Olade é de 20% da tensão de escoamento do material escolhido, ou seja, Sd=0,2Sy.

Após calculado o diâmetro do eixo do injetor, as dimensões restantes do injetor devem ser determinadas seguindo os critérios a seguir, esses critérios foram definidos durante o desenvolvimento do modelo de injetor utilizado no projeto, o qual recebeu o nome de Injetor OLADE, pois foi desenvolvido pela própria OLADE.

Antes de definir as dimensões do injetor é necessário seguir alguns critérios para o funcionamento ideal, descritos abaixo:

$$AB+BC = 0{,}75\ D_e \tag{3.9}$$

$$R = CD / AB \tag{3.10}$$

(para efeitos práticos o valor de R deve variar entre 1,3 e 1,5)

As letras descritas acima estão apresentadas na Figura 2. As definições acima foram usadas com base no trabalho de (JUNIOR, 2000), o qual baseou-se também nos critérios definidos pelo grupo OLADE.

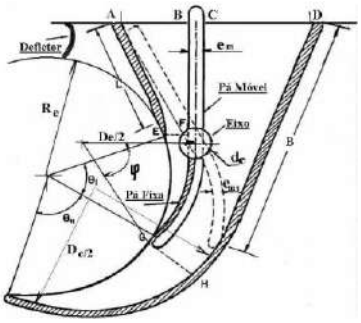



Figura 2. Modelo construtivo Injetor OLADE
Fonte:(JUNIOR, 2000)

As dimensões necessárias para o dimensionamento e projeto do injetor estarão descritas abaixo, essas dimensões foram todas como base o trabalho de (JUNIOR, 2000):

- Raio da pá fixa:

$ri = D_e / 2$ (3.11)

- Distância entre os postos B e F:

$FB = D_e / 2$ (3.12)

- Espessura da pá móvel:

$em = BC = 0{,}075\ D_e$ (3.13)

- Espessura da pá fixa:

$ef = 0{,}2\ em$ (3.14)

- Espessura do ramo curvado do injetor:

$em1 = 0{,}06\ D_e$ (3.15)

-Ângulo formado entre o eixo e a extremidade do ramo curvado do injetor deve ser de 45º.

Com as dimensões do injetor calculadas, conclui-se a etapa de dimensionamento do injetor, mas outra informação é importante de ter-se conhecido, que é a velocidade do fluido na saída do injetor, essa velocidade pode-se determinar com a equação abaixo

$$V_1 = C_v\sqrt{2 \cdot g \cdot H_u} \quad (3.16)$$

De modo que, V1 é a velocidade na saída do injetor em m/s; Cv é o coeficiente da relação entre a velocidade real e a velocidade teórica na saída do injetor, esse valor varia entre 0,97 e 0,98; g é a aceleração gravitacional 9,81 m/s².

Para melhor entendimento das velocidades no rotor da turbina, a Figura 3 presentada a seguir demonstra de forma clara as velocidades.

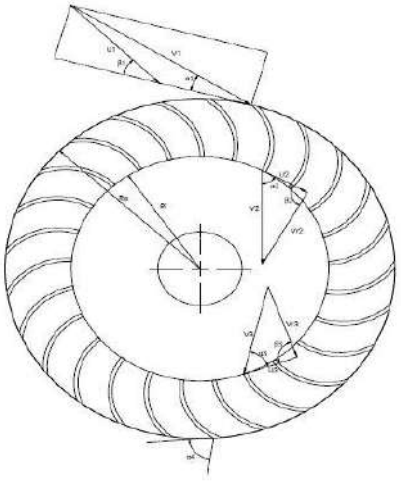


Figura 3. Distribuição das velocidades na entrada do rotor da turbina
Fonte: adaptado de (JUNIOR, 2000)

A velocidade na saída do injetor e a velocidade de entrada no rotor é considerada a mesma e o ângulo ideal de entrada do fluido no rotor é de 16º, essas afirmações foram definidas pela OLADE.

A próxima etapa é o dimensionamento do rotor, tendo a necessidade de definir as dimensões da pá do rotor e diâmetro do eixo do mesmo. Primeiramente será dimensionada as pás do rotor.

O raio de curvatura da pá pode ser calculado de forma prática seguindo o manual OLADE com a equação abaixo

$$r = 0{,}163 \cdot D_e \quad (3.17)$$

Onde, r é o raio de curvatura da pá em metros.

Outra dimensão essencial da pá é o ângulo de curvatura da pá, esse ângulo corresponde ao ângulo formado entre a entrada e a saída da pá, o que pode ser visto na Figura 4.

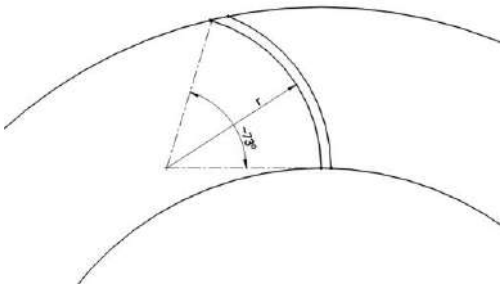


Figura 4. Raio da pá e ângulo de curvatura
Fonte: Autor

Como mostrado na figura apresentada acima, o ângulo formado é de aproximadamente 73º, tendo utilizado o ângulo de entrada do fluido de 16º, o ângulo de saída da pá será de 90º em relação ao vetor de rotação do rotor, sendo assim a combinação ideal para o melhor funcionamento da turbina, de acordo com Carlos Hernandez, Enrique Indacochea, Rafael Pardo Gomes (1988).

O passo seguinte é verificar se o material escolhido para a pá e a sua espessura possuem as propriedades mecânicas necessárias para a aplicação com as dimensões desejadas da turbina, para isso é necessário calcular a força exercida na pá e o centro de gravidade da pá.

Para calcular a força exercida pelo fluido sobre a pá é utilizada a equação apresentada no livro de Carlos Hernandez, Enrique Indacochea, Rafael Pardo Gomes (1988).

$$F = \frac{1000 \cdot Q \cdot V_1 \cdot cos\theta'}{K_o \cdot Z} \tag{3.18}$$

Onde:

F = força sobre cada pá em N; $V_1$ é a velocidade do fluido na saída do injetor, igual a entrada do rotor em m/s;

$\theta'$ = α2 + θ0; $\alpha_2$= 16º; $K_o = \frac{\phi BOC}{360^\circ}$ = porcentagem do arco de admissão; Z é o número de pás do rotor, o qual pode variar entre 20 e 30.

Para calcular o θ' é necessário como informado acima o θ0, o qual pode ser calculado utilizando a equação abaixo:

$$\theta 0 = \arccos\frac{(r_e)^2 + (r_3)^2 - (ri)^2}{2r_e \cdot 2r_3} \tag{3.19}$$

De modo que:

$r_e = D_e/2$ em metros; $r_i = D_i/2 = (0{,}66D_e)/2$ (m); $r_3 = 2r \cdot sen(\frac{73^\circ}{2})$

$$\phi BOC = 2\arctan\left|\frac{\sqrt{1 - K_u(2 - K_u)\cos^2\alpha_2}}{\frac{D_i}{D_e}K_u \cdot cos\alpha_2}\right| \tag{3.20}$$

Onde, ΦBOC é o ângulo de admissão de água em graus; Ku é 0,5;

Resolvendo as equações acima pode-se encontrar a força aplicada em cada pá. Com a força calculada é possível efetuar a verificação se as propriedades mecânicas da pá são compatíveis com o projeto, para isso será utilizada a equação abaixo, essa equação e as demais equações de suas variáveis são definidas no livro do grupo OLADE, algumas delas sofreram alterações para padronizar com base no padrão SI.

$$\delta_{max} = \frac{F \cdot B_r \cdot c}{12 \cdot Ig_x} \tag{3.21}$$

Sendo, δmax é a tensão máxima aplicada na pá em Pa; F é a força aplicada na pá em N; Br é a largura do rotor em metros, essa dimensão varia conforme cada projeto mas pode-se iniciar o cálculo utilizando a largura do injetor mais 0,01 m; $c = r + e - C_g$ ; sendo que a variável "e" é a espessura em metros das pás e o "Cg" pode ser calculado com a equação abaixo.

$$C_g = \frac{120|(r+e)^3 - r^3|(\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2))}{\emptyset Z((r+e)^2 - r^2)} \tag{3.22}$$

De modo que, Cg é o centro de gravidade da pá; Z é o número de pás do rotor;

θ1 = (180- ∅)/2 = (180-73)/2 = 53,5º

θ2 = ∅ + θ1 = 126,5º

∅ = ângulo de curvatura da pá ~=73º

Com o centro de gravidade calculado, a etapa restante para que possa ser calculado a tensão máxima na pá é determinar o momento de inércia da mesma, para isso será utilizada a equação abaixo.

$$Ig_x = (r+e)^4 - r^4 |\emptyset - \frac{\sin(2\cdot\theta_2) - \sin(2\cdot\theta_1)}{2}| \quad (3.23)$$

∅ = expressado em radianos

Com as equações das variáveis da tensão máxima na pá calculadas, pode-se realizar devidamente o cálculo utilizando-as e verificando se δmax na pá não exceda 66% da tensão de escoamento máxima do material utilizado, caso a tensão exceda pode-se alterar a espessura da pá ou em casos onde essa possibilidade não é possível por limitações do material, deve-se buscar outra opção de material.

A sequência do dimensionamento do rotor da turbina o próximo passo é o dimensionamento do eixo onde será fixado o rotor e que é onde será transmitido a potência da turbina, para isso é utilizado as equações a seguir.

$$d = (\frac{16}{\pi \cdot S_d}\sqrt{(K_m \cdot M_{max})^2 + (K_t \cdot T_{max})^2})^{\frac{1}{3}} \quad (3.24)$$

De modo que, d é o diâmetro mínimo calculado para o eixo em metros; Sd é a tensão máxima disponível para o eixo em Pa; Km é o 1,5 - fator estimado do momento fletor no eixo; Kt é 1,0 – fator estimado referente ao momento torsor no eixo;

$$M_{max} = \sqrt{{M_x}^2 + {M_y}^2} \quad (3.25)$$

Sendo:

$$M_x = \frac{Fr \cdot a}{2} \quad (3.26)$$

$$M_y = \frac{Pr \cdot a}{2} \quad (3.27)$$

Pr o peso do rotor em N; “a” a distância entre os discos onde são fixados as pás e os mancais do rotor em metros; Fr a força tangencial do rotor em N, essa força pode ser calculada utilizando a fórmula fornecida pelo livro de Carlos Hernandez, Enrique Indacochea, Rafael Pardo Gomes (1988), a qual está apresentada abaixo apenas adaptada para o padrão do sistema internacional de medidas (SI).

$$Fr = \frac{19{,}11 \cdot 10^3 P}{N \cdot De} \quad (3.28)$$

Onde, P é a potência em kW; N é o número de revoluções por minuto (RPM);

$$T_{max} = \frac{9554{,}94 \cdot P}{N} \quad (3.29)$$

Sendo, Tmax o momento torsor máximo no eixo do rotor em N.m.

Com os dados acima calculados a partir das fórmulas adaptadas para o sistema internacional de unidades (SI) das apresentadas no livro (Diseño, Estandarizacion Y Fabricacion De Equipos Para Pequeñas Centrales Hidroelectricas, 1988), pôde-se definir o diâmetro mínimo do eixo do rotor. Para dar continuidade deve-se verificar se o diâmetro calculado não exceda o diâmetro máximo do eixo que pode ser utilizado na turbina, é possível verificar utilizando a fórmula fornecida no manual da OLADE, a qual está apresentada abaixo.

$$d = 0{,}328 \cdot D_e \quad (3.30)$$

Caso o diâmetro máximo admissível do eixo seja menor que o diâmetro mínimo calculado para o mesmo, isso é indício de que o material utilizado não é compatível com a utilização, pois não está atendendo aos critérios do projeto.

O item restante que necessita de dimensionamento específico é os mancais que sustentam o eixo da turbina, o qual podem ser dimensionados utilizando a seguinte equação.

$$C = (X \cdot F_r + Y \cdot F_a)|\frac{60 \cdot N \cdot L_h}{10^6}|^P \quad (3.31)$$

Onde; C é a capacidade mínima dos mancais em kg; X é o coeficiente radial de rotação determinado pela OLADE sendo igual a 1; Y é o coeficiente axial de rotação, para o caso da turbina Banki onde a força axial pode ser desconsiderada, de acordo com a OLADE o coeficiente é igual a 0; Fr é a carga radial resultante das cargas em axiais e radiais do eixo aplicadas sobre os mancais; Lh é a duração nominal em horas de funcionamento; P é o fator do tipo de rolamento, sendo 1/3 para rolamento de esferas e 3/10 para rolamento de cilindros.

Aplicando a fórmula acima têm-se os dados necessários para determinar qual são os mancais possíveis de se utilizar para o projeto.

Para medir a potência gerada no eixo da turbina com o Freio de Prony, é possível seguindo a equação abaixo

$$Pot = |2\pi(\frac{n}{60})L|(\frac{P}{9{,}81}) \quad (3.32)$$

De modo que, Pot é a potência medida em W; n é a rotação medida em RPM; L é o comprimento do braço aplicador do freio, medindo do centro do freio até o ponto aplicador da carga na balança; P é peso aplicado na balança em kg.

Aplicando o cálculo acima com os dados obtidos durante o funcionamento é possível então obter uma comparação em relação a potência esperada e a potência obtida.

Com o projeto concluído da turbina, é então possível a obtenção dos componentes. Para produzir os diversos componentes da turbina, são necessários diversos processos de fabricação, mas devido a escolha de produzir a turbina em acrílico e apenas uma unidade para protótipo, buscou-se então analisar a melhor maneira de produzir cada componente com o procedimento de fabricação disponível para utilização.

Como o conjunto do rotor é um dos componentes mais importantes da turbina e também um dos mais complexos, o processo de produção escolhido foi por usinagem em um centro de usinagem por comando numérico, para assim obter-se uma precisão adequada ao componente, já que devido à complexidade da geometria e dos recortes das pás nas tampas laterais serem de difícil obtenção com precisão em outro método de fabricação.

Para obtenção das pás do rotor foi pensado durante o processo de dimensionamento dos componentes, que o raio interno da pá da turbina seria o mesmo raio interno de um tubo de água disponível no mercado, para fácil obtenção. Para cortar as pás no formato desejado, o tubo em PVC para água deve ser cortado no tamanho do comprimento do rotor, e posteriormente dividido seu diâmetro em 4 partes iguais de 90 graus com o auxílio de uma serra fita vertical, e em seguida com os tubos de PVC já fragmentados, devem ser novamente recortados para obter a forma da pá desejada.

Os componentes da carcaça com geometria simples podem ser produzidos tanto utilizando uma serra circular para madeira ou uma serra fita vertical. Já os componentes com geometria complexa, o método ideal de produzir é por corte com a serra fita vertical.

Os furos dos componentes da máquina de fluxo precisam de uma precisão mais elevada em comparação aos recortes das peças, já que a folga exagerada acarretará em vazamento excessivo e o ajuste com pouca folga atrapalhará na movimentação dos componentes móveis, para poder controlar isso, os furos devem ser realizados com auxílio de uma fresadora.

Já os eixos devem ser torneados antes da montagem, devido ao ótimo controle da furação dos componentes, evitando assim o atrito excedente ou excesso de folga.

A turbina possui componentes que necessitam também de algum tipo de curvamento, mas devido a grande rigidez do acrílico e a sua fragilidade é necessário que a deformação para aplicar o curvamento.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando as equações dadas anteriormente pôde-se dimensionar a turbina para o dimensional desejado para o trabalho, o qual espera-se uma turbina que possa gerar energia na faixa entre 0,5 kW e 1,0 kW.

Antes de dimensionar a turbina, alguns critérios forem estabelecido, sendo eles:

- raio de pá igual a 20 mm, pois será utilizado um tubo em PVC com diâmetro de 40 mm, o mesmo utilizados em instalações hidráulicas residenciais e/ou prediais, esse tubo possui parede de 1,20 mm de espessura;
- rotor possuirá 25 pás;
- material utilizado para fabricação dos componentes da turbina, como discos laterais do rotor, carcaça e flanges, será em polimetil-metacrilato (PMMA), mais conhecido como acrílico;
- diâmetro do eixo do rotor deve ser de 25 mm, pois utilizará mancais já disponíveis, não sendo necessário a aquisição.

Levando em consideração os critérios pré estabelecidos e seguindo a sequência de cálculo do manual de dimensionamento da OLADE foi então possível a obtenção das dimensões principais da turbina, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Dimensões principais calculadas
Fonte: Autor

| Dimensão | Valor |
|---|---|
| De | 0,11533 m |
| Pt | 0,538 kW |

| | |
|---|---|
| Q | 0,02378 m³/s |
| N | 585,23 rpm |
| B | 0,11638 m |
| T | 1,415 Nm |

Essas dimensões precisam ser obtidas antes do início da etapa de projeto da turbina pois definem como será a geometria geral da turbina e possibilitando a análise prévia de possíveis limitações de montagem ou produção.

Já com o processo de dimensionamento do projeto da turbina concluído, levando em consideração os dimensionais obtidos durante os cálculos e também analisando a melhor a geometria, visando também facilitar a montagem e a produção dos componentes, já que os mesmos seriam produzidos para uma única unidade e em material com boa resistência mecânica mas com fragilidade acentuada.

A foto do projeto CAD da turbina está apresentada na Figura 5a, o protótipo construído da mesma é apresentado na Figura 5b..

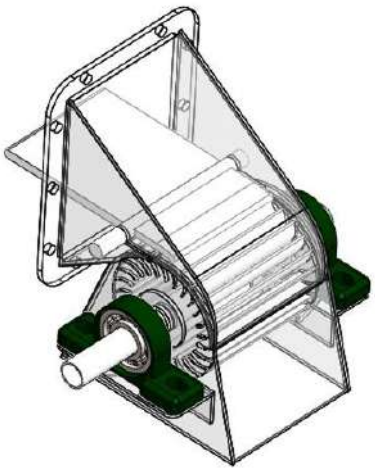


Figura 5a. Foto do Projeto

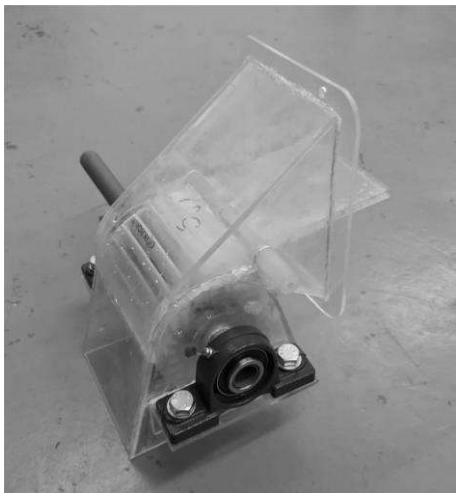


Figura 5b. Foto da turbina montada

Fonte: Autor

Como pode ser visto nas figuras 5a e 5b o projeto da turbina utilizando modelamento 3D e o protótipo da turbina com todas as peças já montadas, pode-se verificar que o protótipo não sofre nenhuma alteração em comparação ao modelo projetado.

Para obter o conjunto final fiel ao projeto diferentes componentes da turbina necessitaram de processos específicos para sua produção, mas devido a geometria diferenciada de alguns deles, como por exemplo a tampa superior do injetor da turbina necessitou várias tentativas de produção já que o material utilizado era frágil mas resistente e a união das peças são obtidas por colagem, o que também necessitou do correto formato dos componentes já que não seria possível nenhuma adição de material durante a montagem.

## 5. CONCLUSÃO

O dimensionamento foi realizado buscando uma turbina com capacidade de gerar uma potência no eixo aproximada de 500 W, ao qual, foi projetada tendo em vista essa aplicação, analisando cada processo de fabricação disponível para confecção da turbina, levando em conta que o material empregado aos componentes que possuem boa resistência mecânica, mas uma acentuada fragilidade.

Após todos os cálculos e do projeto detalhado, deu-se início ao processo de montagem, de modo que, conseguiu-se montar conforme o projeto, mesmo sendo necessários apenas alguns ajustes durante a montagem, possibilitando então uma análise da turbina construída, já que algo tangível facilita em alguns aspectos o entendimento do conjunto como um todo.

Com isso percebeu-se a importância para o desenvolvimento do conhecimento e o aperfeiçoamento técnico em relação às turbinas e suas aplicações, bem como também, no aprofundamento técnico gerado pela pesquisa motivada pela busca de novos conhecimentos.

## 6. REFERÊNCIAS

CARLOS HERNANDEZ, ENRIQUE INDACOCHEA, RAFAEL PARDO GOMES. Diseño, Estandarizacion Y Fabricacion De Equipos Para Pequeñas Centrales Hidroelectricas. Quito: Olade, v. 1, 1988.

JUNIOR, A. G. D. M. A Turbina de Fluxo Cruzado (Michell-Banki) Como Opção para Centrais Hidráulicas de Pequeno Porte. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 176. 2000.

QUANTZ, L. Motores Hidráulicos. 5ª. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1960. 231 p.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DIMENSIONAMENTO DE UM ROTOR CENTRÍFUGO COM BASE NO MÉTODO DE ARCHIBALD MACINTYRE

**Lucas Marmentini**
**Renata Rech de Souza**
**Diógenes Dal Magro**
**Marco Antônio Sampaio Ferraz de Souza**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim
lucasmarmentini1@hotmail.com; renatarechdesouza@gmail.com; diogenesdal@gmail.com; marco@uricer.edu.br

***Resumo:*** *O presente trabalho consiste no dimensionamento de uma turbobomba centrífuga. Para isso, foram inicialmente estabelecidos valores para alguns parâmetros de operação de uma turbobomba que utiliza água a condições normais de temperatura e pressão como fluido de trabalho, são estes: altura manométrica de 50 mca e uma vazão de 50 m³/h. Foi utilizada a metodologia de projeto apresentada por Macintyre (1997), além de conhecimento na área de hidrodinâmica e projetos hidráulicos. Dessa forma, foi possível o desenvolvimento do projeto bem como o detalhamento de componentes passíveis de fabricação.*

***Palavras chave:*** *Bomba centrífuga, turbobomba, dimensionamento, projeto.*

## 1. INTRODUÇÃO

As máquinas hidráulicas podem ser classificadas em três grandes grupos: máquinas motrizes; máquinas geratrizes ou operatrizes; máquinas mistas. As máquinas operatrizes recebem trabalho mecânico e o transformam em energia hidráulica. Segundo Fox *et al.* (2006), equipamentos que adicionam energia a um fluido, realizando trabalho sobre o fluido, são denominadas bombas, quando o escoamento é de líquido ou pastoso, e ventiladores, sopradores ou compressores para unidades que lidam com gás ou vapor, dependendo do aumento de pressão.

As bombas são classificadas segundo o modo pelo qual transformam o trabalho recebido em energia, sendo assim tem-se: bombas de deslocamento positivo; turbobombas; e bombas especiais. Dentro da classificação das turbobombas encontra-se a bomba centrífuga, cujo rotor será dimensionado no presente trabalho.

Tendo em vista a classificação das bombas, o presente estudo tem como propósito a caracterização e o dimensionamento de um rotor centrífugo radial, que atua em uma vazão de 50 m³/h, 50 mca para altura manométrica, com uma rotação de 3500 rpm, utilizando água como fluido de trabalho. O mesmo se dará de forma a satisfazer a necessidade do deslocamento de água com altura e vazão dados. Para tanto serão apresentados conceitos, cálculos, parâmetros considerados, bem como requisitos de desenho e construção. Tal estudo será desenvolvido com base na metodologia de projeto proposta por Macintyre (1997).

## 2. METODOLOGIA DE PROJETO DO ROTOR

De acordo com Fox *et al.* (2006) as bombas consistem em um elemento rotativo chamado de impulsor ou rotor, que é acionado por uma fonte de energia externa com o objetivo de aumentar a energia cinética do escoamento. Devido ao fato de fornecer energia ao fluido, o rotor constitui o principal componente do equipamento. Este é projetado para que forneça uma determinada descarga *Q*, além de uma altura manométrica *H*, trabalhando em *n* rotações por minuto. Esses três valores consistem nos dados iniciais do projeto, somado às características do líquido a ser bombeado.

Para a escolha do tipo de rotor mais adequado, os valores para velocidade específica $n_s$, ou a determinação do número característico $n_q$ podem indicar o tipo de rotor e o formato mais adequado. As equações para a velocidade específica e para o número característico (ou rotação característica) são representadas pelas Eq. (1) e Eq. (2), respectivamente.

$$n_s = 3{,}65 \cdot \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad (1)$$

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad (2)$$

De início deve ser realizada uma correção da descarga, onde são considerados fatores como recirculação da água e fugas, de modo que uma descarga $Q'$ é estipulada, sendo esta superior à carga desejada $Q$. Segundo Macintyre (1997) são adotados valores superiores visando compensar possíveis falhas das hipóteses consideradas nas demais etapas de cálculo, pois na realidade o rotor fornece uma energia maior do que a necessária para atender apenas ao líquido que sai da boca de recalque da bomba. Para equipamentos de grande descarga e baixa pressão o aumento deve ser de 3%, para bombas de descara e pressão médias o acréscimo é de 5% e quando apresentar pequenas descargas e baixas pressões deve-se realizar uma correção de 10%.

O rendimento hidráulico caracteriza-se como a relação entre a potência útil e a de elevação, variando de 0,50 para bombas pequenas, a 0,90 para bombas maiores, podendo também ser obtido pela Eq. (3).

$$\mathcal{E} = 1 - \frac{0{,}8}{\sqrt{Q_{(gpm)}}} \tag{3}$$

Posteriormente é realizado o cálculo da energia teórica cedida ao líquido, onde utiliza-se a Eq. (4).

$$H_e = \frac{H_u}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \left( H + \frac{{V_3}^2 - {V_0}^2}{2} \right) \tag{4}$$

Para a obtenção da potência motriz inicialmente são adotados valores entre 70% e 75% para o rendimento total máximo $\eta$. Quando utilizado água como fluido de trabalho, a potência motriz $N_{(c.v.)}$ é determinada pela Eq. (5).

$$N_{(c.v)} = \frac{1000 \,.\, Q \,.\, H}{75 \,.\, \eta} \tag{5}$$

Para o cálculo do diâmetro do eixo é utilizada a Eq. (6), onde considera-se o eixo com o rotor em balanço em sua extremidade, além de considerar a taxa de trabalho do aço a torção $\sigma_{adm}$ = 210 $kgf/cm^2$.

$$D_e = 12 \,.\, \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \tag{6}$$

O diâmetro do núcleo é estipulado a partir da adição de 10 a 30 mm ao diâmetro do eixo. Com isso, para o cálculo deste valor utiliza-se a Eq. (7).

$$D_n = D_e + (\, 2 \,.\, [5 \; a \; 15mm] \,) \tag{7}$$

Para o cálculo da velocidade média na boca de entrada do rotor faz-se necessário o uso do fator de velocidade $k_{v'1}$, determinado a partir do número característico $n_q$, como apresenta a Tab. 1.

Tabela 1. Fator de velocidade $k_{v'1}$ de acordo com a rotação característica.

| **Rotação Característica** | $n_q < 10$ | $10 < n_q < 20$ | $20 < n_q < 30$ | $30 < n_q < 40$ |
|---|---|---|---|---|
| **Fator de Velocidade $k_{u2}$** | 0,09 a 0,10 | 0,11 a 0,13 | 0,13 a 0,16 | 0,17 a 0,18 |

Após a seleção do fator de velocidade, a velocidade média na entrada do rotor por ser calculada pela Eq. (8).

$$v'_1 = \; k_{v'1} \,.\, \sqrt{2g \,.\, H} \tag{8}$$

A seção circular de entrada do líquido no rotor é obstruída pelo eixo e pelo núcleo devido à expansão da coroa do rotor em torno do eixo, sendo que a mesma pode chegar a uma média de 10 a 15% da ordem da seção circular. Pode-se calcular $d_1'$ utilizando a Eq. (9).

$$D'_1 = \sqrt{\frac{4Q'}{\pi {V'}_1} + {D_n}^2} \tag{9}$$

Para bombas lentas, o bordo de entrada pode ser paralelo, ligeiramente inclinado ou ainda com ligeira curvatura. O diâmetro médio da superfície de revolução gerada pela rotação do bordo de entrada das pás é encontrado pela Eq. (10).

$$d_{m1} = D'_1 \text{ ou } 1{,}1 \,.\, D'_1 \tag{10}$$

Para a determinação da velocidade meridiana de entrada, é inicialmente necessário a utilização de um coeficiente da velocidade meridiana $k_{vm1}$, que pode ser obtido a partir da Tab. 2.

Tabela 2. Fator de velocidade $k_{vm1}$ de acordo com a rotação característica.

| **Rotação Característica** | $n_q < 10$ | $10 < n_q < 20$ | $20 < n_q < 30$ | $30 < n_q < 40$ |
|---|---|---|---|---|
| **Fator de Velocidade $k_{vm1}$** | 0,110 a 0,120 | 0,125 a 0,140 | 0,145 a 0,175 | 0,175 a 0,195 |

Após a determinação do coeficiente $k_{vm1}$, pode-se calcular a velocidade meridiana de entrada pela Eq. (11).

$$v_{m1} = k_{vm1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \tag{11}$$

O cálculo da velocidade periférica para o ponto no bordo de entrada, que corresponde ao filete médio, é feito através da Eq. (12).

$$u_1 = \frac{\pi \cdot d_{m1} \cdot n}{60} \tag{12}$$

A largura da pá $b_1$ à entrada pode ser obtida pera Eq. (13).

$$b_1 = \frac{Q'}{(\pi \cdot D_{m1} - Z \cdot \sigma_1)} \tag{13}$$

A partir da obtenção dos valores calculados para $d_{m1}$e $v_{m1}$, é possível elaborar diagrama de velocidades. A partir deste é possível obter a inclinação das pás na entrada $\beta_1$, conforme mostra a Fig. 6.

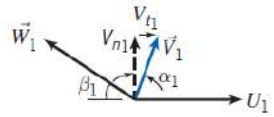



Figura 1. Diagrama de velocidades na entrada de um rotor centrífugo.
Fonte: Fox *et al.* (2006)

A partir do diagrama apresentado, é possível obter o valor do ângulo de inclinação das pás na entrada utilizando a Eq. (14).

$$tg\ \beta_1 = \frac{V_{m1}}{u_1} \tag{14}$$

Macintyre (1997) relata que o número de pás de um rotor é um dos principais parâmetros a serem determinados, pois tal escolha dever ser feita levando em conta considerações decisivas para o bom funcionamento do equipamento. Para quantificar o número de pás do rotor ($Z$), são utilizadas algumas estimativas, onde a partir de uma análise conjunta delas é possível determinar um valor para este parâmetro.

A primeira estimativa é dada pela Eq. (15).

$$Z < \pi\ D_2 \cdot 10 \tag{15}$$

A segunda estimativa apresenta-se conforme Eq. (16).

$$\frac{D_2}{D_{m1}} = 1{,}8 \text{ a } 2{,}5 \text{ e } \beta_2 \text{ de } 22^o\,30' a\ 45^o \tag{16}$$

A terceira estimativa utilizada foi sugerida por Pfleiderer (1979), de acordo com a Eq. (17).

$$Z \geq \frac{8 \cdot tg\beta_1 \cdot H_e}{3\left[\left(\frac{D_2}{D_{m1}}\right)^2 - 1\right]} \tag{17}$$

Stepanoff (2002) sugere uma quarta estimativa, ilustrada pela Eq. (18).

$$Z = \frac{\beta_2\ (\text{em graus})}{3} \tag{18}$$

A espessura das pás à entrada pode ser determinada a partir das dimensões do rotor, onde para diâmetros menores que 300 mm a espessura pode ser de 3 a 4 mm. Já para rotores maiores com diâmetro entre 300 e 500 mm as pás podem ter de 5 a 7 mm de espessura.

Pelo fato de a pá apresentar uma inclinação, existirá uma obstrução $\sigma_1$, expressa pela Eq. (19).

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{sen\,\beta_1} \tag{19}$$

A obtenção do passo entre as pás $t_1$ é feita utilizando a Eq. (20).

$$t_1 = \frac{\pi . d_{m1}}{Z} \tag{20}$$

Dessa forma, é possível obter o inverso do coeficiente de contração, parâmetro este utilizado para a validação do número de pás estimado anteriormente. Ele pode ser calculado a partir da Eq. (21), onde $v_1$ corresponde ao coeficiente de contração. O valor inverso desse parâmetro deve se encontrar entre 1,20 e 1,30 para confirmar o número de pás adotadas.

$$\frac{1}{v_1} = \frac{t_1}{t_1 - \sigma_1} \tag{21}$$

O valor da energia cedida às pás $He'$ é representado pela Eq. (22).

$$H'_e = H_e \left(1 + \frac{8}{3}.\frac{\Psi}{Z}\right) \tag{22}$$

Um dos critérios para determinar o valor da velocidade periférica no bordo de saída $u_2$ é representado pela Eq. (23).

$$u_2 = k_{u2} \sqrt{2gH} \tag{23}$$

O fator de velocidade $k_{u2}$ pode ser obtido através da Tab. 3.

Tabela 4. Fator de velocidade $k_{vm2}$ de acordo com a rotação característica.

| **Rotação Característica** | $n_q < 10$ | $10 < n_q < 20$ | $20 < n_q < 30$ | $30 < n_q < 40$ |
|---|---|---|---|---|
| **Fator de Velocidade $k_{u2}$** | 0,98 | 1,00 a 1,02 | 1,02 a 1,03 | 1,03 a 1,05 |

Em seguida pode-se obter um diâmetro de saída com a Eq. (24).

$$d_2 = \frac{60.u_2}{\pi \;\; n} \tag{24}$$

A velocidade meridiana de saída $v_{m2}$ pode ser obtida pela Eq. (25).

$$V_{m2} = k_{m2} \sqrt{2gH} \tag{25}$$

O coeficiente de velocidade $k_{vm2}$ pode ser obtido a partir da Tab. 4.

Tabela 4. Fator de velocidade $k_{vm2}$ de acordo com a rotação característica.

| **Rotação Característica** | $n_q < 10$ | $10 < n_q < 20$ | $20 < n_q < 30$ | $30 < n_q < 40$ |
|---|---|---|---|---|
| **Fator de Velocidade $k_{vm2}$** | 0,080 a 0,090 | 0,100 a 0,120 | 0,120 a 0,140 | 0,146 a 0,165 |

O ângulo de saída $\beta_2$ é determinado a partir da Tab. 5.

Tabela 5. Ângulo de saída em relação ao número de pás.

| $\boldsymbol{\beta_2}$ | 22º 30’ a 30º | 30º a 35º | 35º a 45º |
|---|---|---|---|
| $\boldsymbol{Z}$ | 6 a 7 | 8 a 9 | 9 a 10 |

A partir dos parâmetros calculados anteriormente é possível elaborar o diagrama de velocidades referente à saída do rotor, como pode ser observado na Fig. 2.

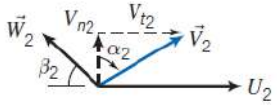



Figura 2. Diagrama de velocidades na saída de um rotor centrífugo.
Fonte: Fox *et al.* (2006)

Posteriormente é realizado um cálculo de correção da velocidade periférica no bordo de saída $u_2$, utilizando a Eq. (26)

$$u_2 = \frac{v_{m2}}{2 \cdot tg\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{v_{m2}}{2 \cdot tg\beta_2}\right) + g.H'_e} \quad (26)$$

Com o valor de $\beta_2$, é possível encontrar a obstrução $\sigma_2$ provocada pelas pás à saída do rotor, utilizando a Eq. (27).

$$\sigma_2 = \frac{S}{sen\ \beta_2} \quad (27)$$

O passo das pás à saída $t_2$ pode ser encontrado pelo uso da Eq. (28).

$$t_2 = \frac{\pi . d_2}{Z} \quad (28)$$

O coeficiente de contração $v_2$ e obtido através da Eq. (29).

$$v_2 = \frac{t_2 - \sigma_2}{t_2} \quad (29)$$

A largura das pás à saída do rotor pode ser determinada pela Eq. (30).

$$b_2 = \frac{Q'}{\pi . D'_2 . V_{m2}} . \frac{1}{v_2} \quad (30)$$

## 2.1 Traçado das pás

O primeiro passo para realizar a modelagem de um rotor centrífugo é obter a curvatura das pás. Esta é obtida geralmente por métodos geométricos através de relações de retas sobre os diâmetros e ângulos de entrada e de saída da bomba. Neste projeto foram avaliadas duas formas de traçado das pás por arcos de circunferência.

O método de traçado de pás por um arco de circunferência permite a obtenção de um círculo sobre o plano formado por $d_1$ e $d_2$, de forma que a curvatura da pá se dará pelo arco desta circunferência. É o método mais fácil de obtenção da curva, porém possui algumas restrições. A curvatura possui uma leve acentuação, interferindo em partes no escoamento do líquido bombeado.

O método de traçado de pás por dois arcos de circunferência é muito parecido com o anterior, porém visa suavizar a curvatura das pás. Esta suavização da curvatura otimiza o escoamento diminuindo as perdas na bomba.

Os dois métodos podem ser observados na Fig. 3

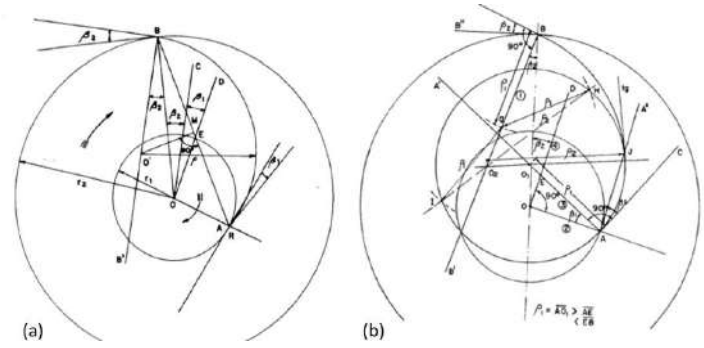



Figura 3. Traçado das pás por um arco (a) e por dois arcos (b).
Fonte: Macintyre (1997)

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo as equações propostas por Macintyre (1997), chega-se aos valores dimensionais para o rotor da bomba centrífuga em questão. Tais valores estão apresentados na Tab. 6.

Tabela 6. Principais valores obtidos para o dimensionamento do rotor.

| Descrição | Símbolo | Valor | Unidade |
|---|---|---|---|
| Diâmetro do eixo | *de* | 0,0187 | m |
| Diâmetro do núcleo | *dn* | 0,0327 | m |
| Diâmetro da entrada do rotor | *d'1* | 0,075 | m |
| Diâmetro médio da aresta de entrada | *dm1* | 0,082 | m |
| Ângulo das pás na entrada do rotor | *β1* | 16,16 | graus |
| Número de pás | *Z* | 5 | pás |
| Passo entre as pás à entrada | *t1* | 0,0518 | m |
| Largura da pá à entrada | *b1* | 0,1923 | m |
| Diâmetro de saída | *d2* | 0,168 | m |
| Passo entre as pás à saída | *t2* | 0,1208 | M |
| Espessura da pá | *S* | 3 | mm |
| Potência motriz | *Pmot* | 13,22 | c.v. |

A partir da obtenção dos parâmetros dimensionais e do traçado da curvatura das pás pelo método de dois arcos de circunferência, foi possível realizar a modelagem do rotor. O rotor modelado pode ser visto na Fig. 4.

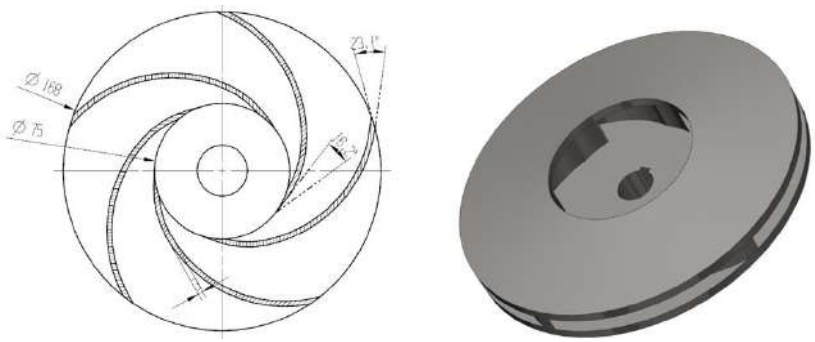



Figura 4. Modelagem do rotor.

Observa-se que os resultados obtidos apresentam coerência em relação aos equipamentos de mesmo gênero atualmente comercializados. Entretanto, pelo fato de a metodologia utilizada ser muito genérica, faz-se necessária a realização de análises posteriores para que seja possível otimizar o desempenho do equipamento, bem como a eficácia do método para a situação em questão.

## 4. CONCLUSÕES

É imprescindível que se desenvolva o projeto de forma a se conseguir a vazão e pressão desejadas em função da menor potência possível, obtendo assim uma bomba mais eficiente. Percebe-se então que para um completo dimensionamento de uma bomba centrífuga, fazem-se necessários estudos acerca das perdas de carga e o dimensionamento de uma voluta eficiente. Dessa forma, sugere-se como estudo futuro, uma avaliação a respeito de questões como o dimensionamento da voluta, análise numérica e processo de fabricação da bomba projetada.

## 5. REFERÊNCIAS

Macintyre, A. J. *Bombas e Instalações de Bombeamento*. Rio de Janeiro: LTC, 1997.
Fox, R. W.; Mcdonald, A. T.; Pritchard, P. J. *Introdução a Mecânica dos Fluidos*. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
Stepanoff, A. J. *Centrifugal and Axial flow pumps*. Chap, v. 18, p. 404, 2002.
Pfleiderer, Carl. *Máquinas de fluxo*. LTC, 1979.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluso neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# ANÁLISE EM CFD DE UM LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE FRIO: EFEITO DA ALTURA DO LEITO E DO FLUXO DE AR

**Renata Rech de Souza**
**Cristiano Vitorino da Silva**
**Maria Luiza Sperb Indrusiak**
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, URI, Erechim, RS
renatarechdesouza@gmail.com, cristiano@uricer.edu.br, msperbindrusiak@gmail.com
**Lara Werncke Vieira**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS
laravieira@ufrgs.br

***Resumo:*** *A queima em leito fluidizado apresenta-se como uma alternativa eficiente e de baixo impacto no que diz respeito à queima de carvão em caldeiras. Tendo em vista as vantagens oferecidas por essa tecnologia, o presente estudo tem como propósito a avaliação do campo de pressões e da fração volumétrica de sólidos em um leito fluidizado frio, a partir da variação da velocidade de ar na entrada do leito e da altura do mesmo. Para avaliação do leito são resolvidas as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e da fração de mistura. A técnica de volumes finitos é aplicada e o software ANSYS Fluent é utilizado como ferramenta de simulação. A partir da simulação computacional de oito casos com as variações propostas, foi possível observar a influência da altura do leito no campo de pressões do leito, sendo que o aumento da altura do mesmo provocou o aumento da pressão máxima no leito.*

***Palavras chave:*** *leito fluidizado, velocidade ar, fração de sólido, campo de pressão, CFD.*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia não engloba apenas necessidades básicas, mas também representa um aspecto primordial no desenvolvimento sustentável da sociedade como um todo (Santos, 2009). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2019), a energia gerada pelas termelétricas representa 24,49 % de toda a energia gerada no Brasil. Nesse aspecto, a limitação dos combustíveis fósseis, as mudanças climáticas e a crescente preocupação com o aquecimento global levam à busca por tecnologias mais eficientes e limpas para a geração de energia (Loha *et al.*, 2014). Dessa forma, tecnologias mais limpas para a queima de carvão, por exemplo, têm recebido maior atenção levando em conta aspectos ambientais e de eficiência, e entre estas está a tecnologia de queima em leito fluidizado.

Segundo Kunii e Levenspiel (*apud* Chávez, 2017), a fluidização pode ser definida como um fenômeno onde as partículas sólidas são transformadas em um estado com características de fluido através da suspensão destas em um gás ou líquido. A combustão ocorre em um leito incandescente de material inerte, o qual é fluidizado com ar ascendente. O material inerte não participa do processo de combustão, mas cria condições altamente favoráveis para a mesma (Oka, 2004). O estado de fluidização promove uma intensa mistura de partículas no sistema, gerando altos coeficientes de transferência de calor e massa, possibilitando a obtenção de alta uniformidade do leito e uma menor temperatura de combustão (Chávez, 2017).

A tecnologia de queima em leito fluidizado apresenta alta flexibilidade no que diz respeito ao uso de combustíveis, apresentando considerável eficiência na queima de combustíveis de diversos poderes caloríficos, como carvão, biomassa, resíduos, entre outros. Além disso, este processo apresenta baixos níveis de emissões, sem a necessidade de equipamentos complexos para o tratamento de gases (Chávez, 2017). A combustão em leito fluidizado ocorre a temperaturas consideravelmente menores (800 a 900 ºC) em comparação a caldeiras com sistemas convencionais (1000 a 1200 ºC). Isso faz com que a emissão de NOx seja expressivamente menor, já que este se forma a partir de 1400 ºC (Jakobsen, 2008).

De acordo com Singh *et al.* (2013), a aplicação da queima em leito fluidizado une flexibilidade em termos de combustível e alta eficiência no processo. Nesse âmbito, ferramentas de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) são alternativas econômicas e eficazes no estudo deste processo. Entre as características deste processo também se encontra altas taxas de transferência de calor, alta eficiência, baixas temperaturas de combustão e baixa emissão de poluentes. Em sistemas assim, ar ou gás é introduzido pela base do leito através de um leito de partículas sólidas, como areia por exemplo, sendo que estas partículas se encontram a baixas velocidades. À medida em que a velocidade do ar aumenta, as partículas passam a ficar suspensas, chegando ao estado denominado de fluidização. Com o aumento progressivo da velocidade do

ar, há a formação de bolhas, turbulência, rápida mistura dos materiais e formação de um leito denso e definido. O leito de partículas sólidas exibe características de um líquido borbulhante e assume a aparência de um fluido (leito fluidizado borbulhante). A velocidades mais altas, as bolhas desaparecem e as partículas são expelidas do leito. É necessário que uma certa quantidade de partículas recircule pelo leito para que se mantenha um sistema estável (leito fluidizado circulante). A Figura 1 apresenta um esquemático do processo de fluidização.

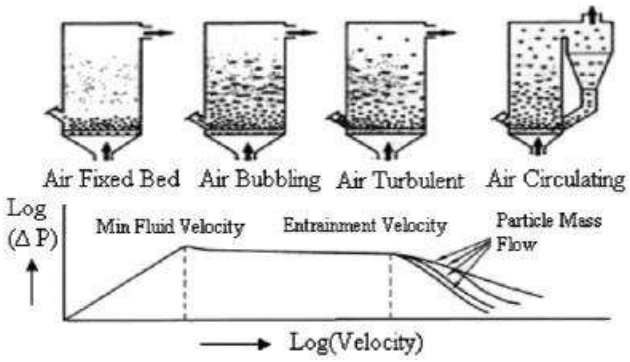



Figura1. Princípio da fluidização (Singh *et al.*, 2013).

Segundo Chávez (2017), não há compreensão total de todos os mecanismos físicos que influenciam nos processos que ocorrem dentro do leito fluidizado como a formação de bolhas, a transferência de gases e a mistura de partículas, pois o sistema fluidizado é um sistema complexo gás-sólido onde várias fases coexistem e não existe ainda um modelo matemático com equações fundamentais consolidado para sistemas de grande escala.

Tendo em vista a necessidade de geração de energia e os aspectos ambientais envolvidos, juntamente com as possibilidades envolvidas no processo de combustão em leito fluidizado e suas vantagens, o presente estudo busca uma avaliação do campo de pressão e fração de volume de sólidos em um leito fluidizado frio, com a variação de determinados parâmetros. O problema avaliado consiste na modelagem numérica em CFD, utilizando o *software* Ansys Fluent, de um leito onde ar flui de modo ascendente da base do domínio e também por um orifício próximo à parede aquecida. O problema avalia o fluxo de ar e uma fase sólida granular representada por esferas de vidro (propriedades termofísicas semelhantes às da areia) em um leito fluidizado sob condições mínimas de fluidização. A partir de uma situação estabelecida, foram variados os parâmetros relacionados à velocidade do ar e à altura do leito. Dessa forma, foi realizada uma comparação entre os casos simulados com base na avaliação do campo de pressão e da fração de sólidos no domínio.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo em vista a complexidade envolvida no processo de combustão, o presente estudo aborda, inicialmente, a reação em um leito fluidizado frio, sob condições mínimas de fluidização. A análise foi realizada com o auxílio do *software* Ansys Fluent 19.2, adotando como base a geometria de um leito simplificado. A geometria do leito é apresentada na Fig. 2, bem como suas condições de contorno.

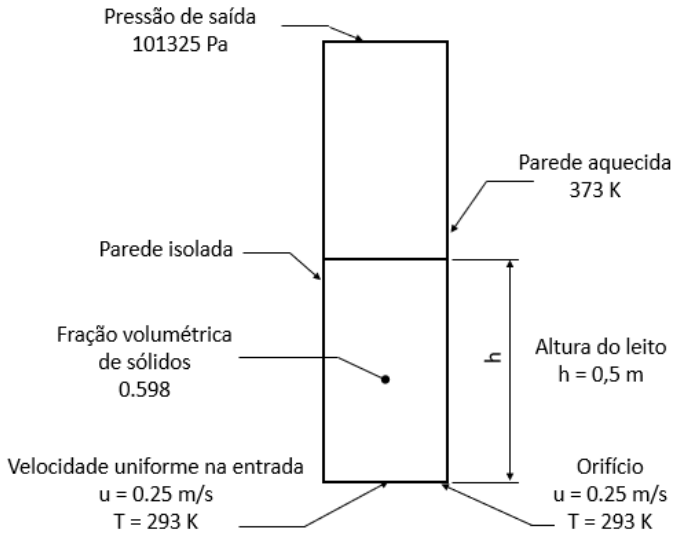



Figura 2. Modelo físico do leito em estudo.

Para o presente estudo, as variáveis trabalhadas foram a vazão de ar e a altura do leito. Posterior à resolução da situação inicial, foram variados a vazão de ar e a altura do leito em 25% para mais e para menos. A variação foi feita, inicialmente, variando um parâmetro por vez e posteriormente os dois em conjunto. Dessa forma, ao todo foram simulados oito casos com combinações diferentes dos parâmetros analisados. A Tabela 1 apresenta as combinações feitas para cada caso.

Tabela 1. Variação dos parâmetros analisados.

| Casos | Variação de parâmetros | |
|---|---|---|
| | Velocidade ar | Altura leito |
| Caso 00 | - | - |
| Caso 01 | + 25% | - |
| Caso 02 | - 25% | - |
| Caso 03 | - | + 25 % |
| Caso 04 | - | - 25 % |
| Caso 05 | + 25 % | + 25 % |
| Caso 06 | - 25 % | - 25 % |
| Caso 07 | - 25 % | + 25 % |
| Caso 08 | + 25 % | - 25 % |

A partir das combinações estabelecidas, cada caso foi simulado computacionalmente e a partir da solução gerada avaliou-se a distribuição de pressão no domínio e a fração de sólidos no mesmo. O modelo utilizado para a simulação numérica foi o modelo Euleriano e a condutividade térmica do ar e do material sólido foi compilada por uma UDF (*User Defined Function*) e para isso, foi necessária a utilização do *software* Microsoft Visual Studio 2019 para compilação do código.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da simulação computacional dos casos estabelecidos, foram obtidos os resultados referentes à variação de vazão do ar e da altura do leito. Como critério de comparação, tem-se a análise da distribuição de pressão no domínio e a fração volumétrica de sólidos. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para o campo de pressão (a) e a fração volumétrica de sólidos (b) para o Caso 00. Verifica-se nesta figura que a pressão mais elevada se encontra na base do leito, resultado da perda de carga no meio poroso do próprio material do leito. Também se verifica que os sólidos se concentram na base por efeitos gravitacionais, como esperado.

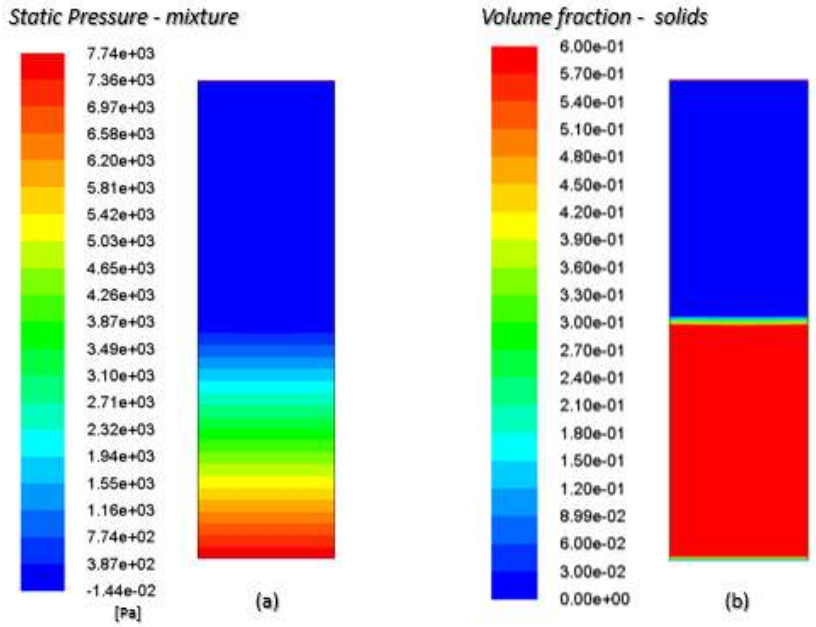



Figura 3. Resultados obtidos para o campo de pressão (a) e a fração volumétrica de sólidos (b) - Caso 00.

Como descrito anteriormente, a partir do Caso 00, foram feitas as variações e os demais casos foram simulados. A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para a fração volumétrica de sólidos para todos os casos. Os campos de pressão obtidos para cada caso são apresentados na Fig.5.

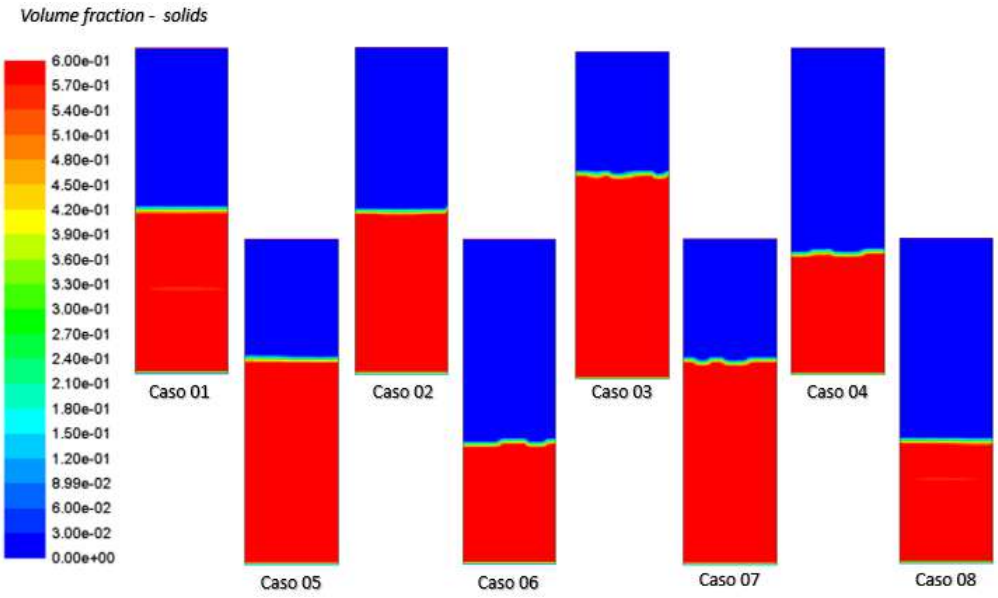



Figura 4. Fração volumétrica de sólidos para os casos simulados.

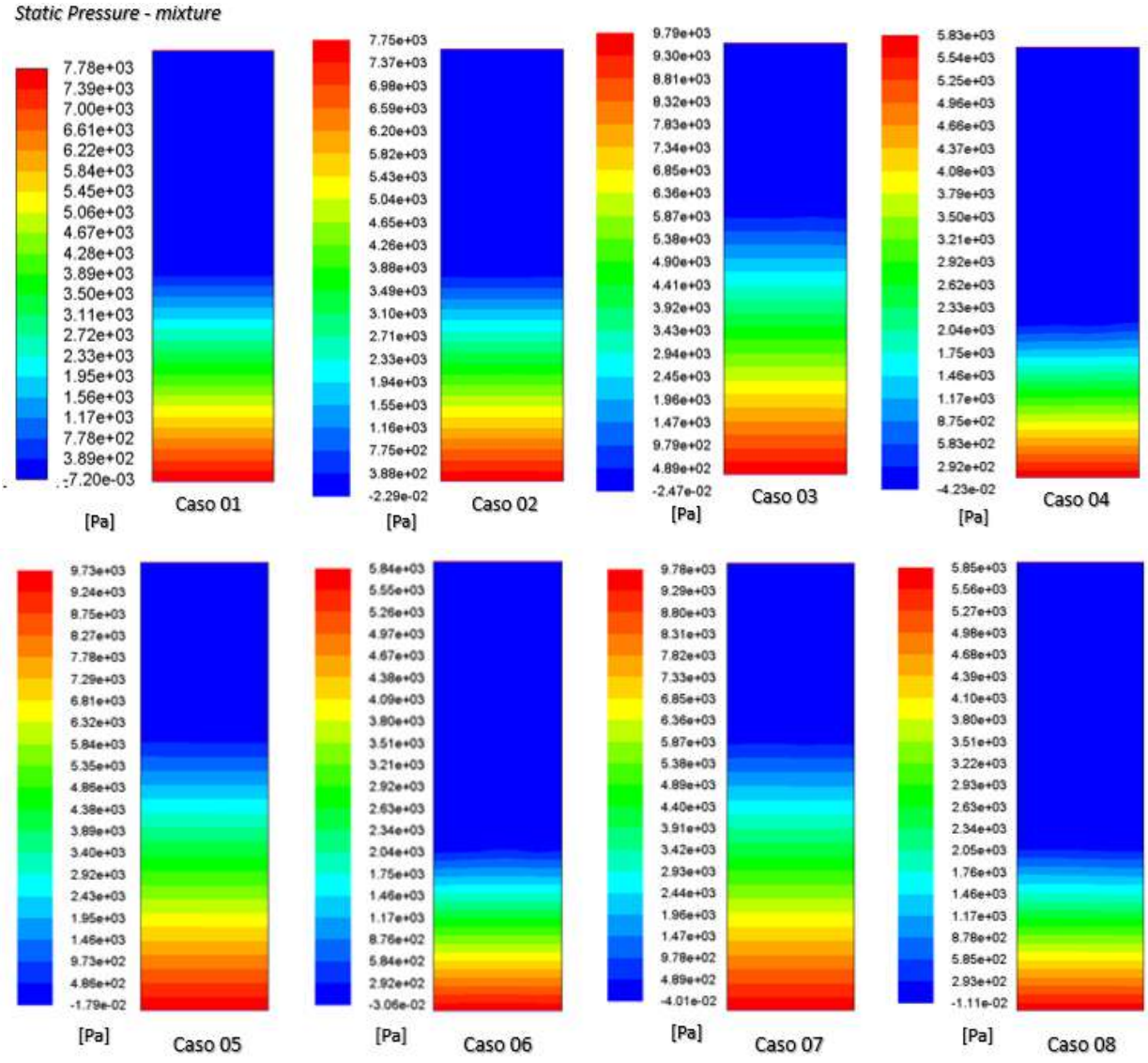



Figura 5. Campos de pressão para os casos simulados.

Para os campos de pressão resultantes, avaliou-se a pressão máxima existente no leito para cada caso. Os valores obtidos para cada caso estão representados no gráfico da Fig. 6.

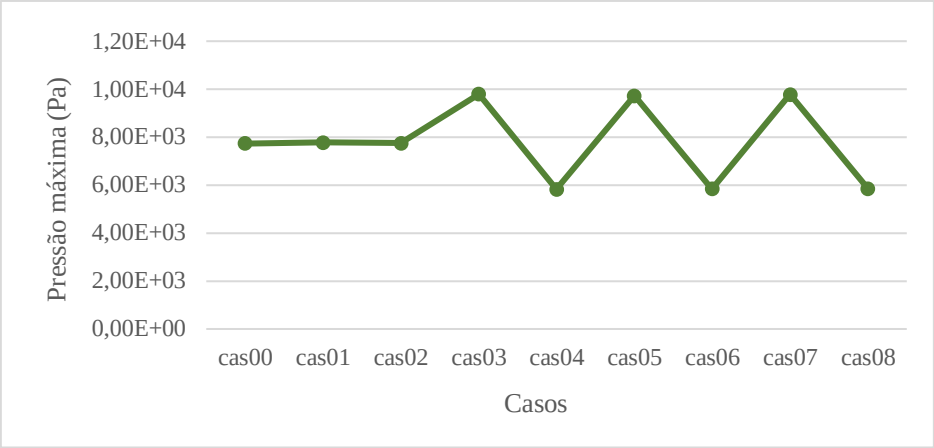



Figura 6. Pressão máxima para cada caso.

Pode-se observar que houve variações significativas da pressão a partir do Caso 3, sendo que para os casos anteriores não se observa grandes variações, pois nos primeiros casos simulados houve apenas variações na velocidade do ar. A partir destes resultados, os valores obtidos foram rearranjados em ordem crescente de pressão máxima, sendo que o resultado deste rearranjo pode ser observado na Fig. 7.

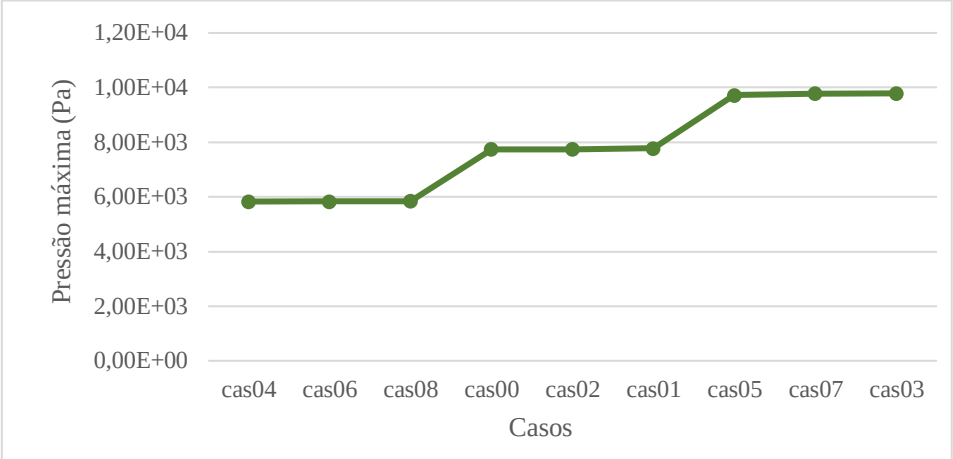



Figura 7. Distribuição da pressão máxima para cada caso em ordem crescente.

Da mesma forma, a Tab. 1 também foi rearranjada a partir dos dados obtidos em ordem crescente de pressão máxima, gerando a Tab. 2 e possibilitando a observação da influência dos parâmetros variados na pressão do leito.

Tabela 2. Casos rearranjados conforme as pressões máximas obtidas.

| **Casos** | **Variação de parâmetros** | |
|---|---|---|
| | **Velocidade ar** | **Altura leito** |
| Caso 04 | - | - 25 % |
| Caso 06 | - 25 % | - 25 % |
| Caso 08 | + 25 % | - 25 % |
| Caso 00 | - | - |
| Caso 02 | - 25% | - |
| Caso 01 | + 25% | - |
| Caso 05 | + 25 % | + 25 % |
| Caso 07 | - 25 % | + 25 % |
| Caso 03 | - | + 25 % |

A partir do rearranjo dos casos conforme as pressões máximas obtidas, pode-se observar que os casos que apresentaram maiores valores para pressão são aqueles onde aumentou-se a altura do leito. Pode-se perceber também que a velocidade do ar não apresentou grande influência no aumento ou diminuição da pressão no leito.

## 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou a modelagem computacional de um leito fluidizado frio através de técnicas de CFD. Foram avaliadas a influência da altura do leito e também a velocidade do fluxo de ar de alimentação. O que foi possível perceber é que, mesmo que de forma qualitativa, a altura do leito é que apresenta maiores influências sobre a distribuição de pressão no leito, devido principalmente ao aumento de perda de carga gerada, e que a velocidade do fluxo de ar de entrada tem menor influência. Estas condições são importantes, principalmente quando se pretende avaliar a queima de algum combustível no leito, pois são importantes para o processo de queima e também para o processo de alimentação e manutenção do leito.

## 5. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Banco de Informações de Geração - BIG. Disponível em <www.aneel.gov.br> Acesso em 22 de agosto de 2019.

Chávez, J. G. V. Modelagem de um Leito Fluidizado Borbulhante de Grande Escala para Combustão de Biomassa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2017.

Jakobsen, H., Chemical Reactor Modeling. Springer-Verlag Berlin Heidlberg, 2008.

Loha, C., Gu, S., Wilde, J. D., Mahanta, P., Chatterjee, P. Advances in mathematical modeling of fluidized bed gasification. Elsevier – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40, 688-715, 2014.

Oka, S. N. Fluidized Bed Combustion. Marcel Dekker Inc., New York, 2004.

Santos, P. G. C. Desenvolvimento de um queimador em leito fluidizado borbulhante para queima de biomassa – Adaptação a caldeira pré-existente. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

Singh, R I., Brink, A., Hupa, M. CFD modeling to study fluidized bed combustion and gasification. Elsevier – Applied Thermal Engineering, 52, 584-614, 2013.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Mecânica:

# Processos de Fabricação

REALIZAÇÃO:

URI

ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE AÇOS DE BAIXO CARBONO E ALTA RESISTÊNCIA NA FURAÇÃO POR ESCOAMENTO COM DIFERENTES CONDIÇÕES E PARÂMETROS DE TRABALHO

**Guilherme Regner Nava**
**Leandro Dóro Tagliari**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
142726@upf.br; leandrotagliari@upf.br; mwalber@upf.br.

***Resumo:*** *O processo de furação por escoamento é definido como um método de fabricação que utiliza o atrito para conformar materiais na forma desejada. A busca por novos sistemas de fixação de componentes de forma não permanente é cada vez maior em virtude das constantes mudanças tecnológicas do mundo globalizado. Além disso, o processo de furação por escoamento esta ganhando espaço no mercado, devido à sua potencialidade de aumentar a resistência de furos para posterior rosqueamento. O presente trabalho propõe o estudo do processo de furação por escoamento aplicado em aços de alta resistência e baixa liga. Serão estudados diferentes parâmetros e condições de trabalho com o intuito de conhecer o comportamento dos materiais, verificando a viabilidade do processo. Será também analisada, através das peças produzidas, a qualidade do processo. Espera-se que os resultados obtidos demonstrem o processo viável para aplicação aos materiais analisados, originando poucas mudanças em suas microestruturas. Dessa forma pode-se considerar o processo imparcial, não interferindo nas características mecânicas do material, consequentemente não restringindo o uso e aplicação de quaisquer peças produzidas.*

***Palavras chave:*** *Furação por Escoamento; Conformação; Avaliação Microestrutural; Aços Estruturais.*

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de furação por escoamento visa à obtenção de furos em chapas finas ou peças de pequena espessura e, apesar de não ser uma tecnologia recente, já que as tentativas de se produzir furos por meio da força de atrito datam de 1923, ainda está em desenvolvimento.

Pode ser executado tanto em máquinas convencionais com sistema de avanço controlado, quanto em máquinas CNC e robôs. Em ambas, utiliza-se uma ferramenta de geometria especial com a função de resistir às condições adversas do processo e conseguir conformar plasticamente, ou até mesmo fundir superficialmente as chapas. Obtendo-se um furo sem remoção de material em forma de cavaco, tornando-se, dessa forma, um processo mais sustentável.

A ferramenta que trabalha em alta rotação é pressionada contra a superfície a ser perfurada fazendo com que ocorra atrito com o material da chapa, resultando em uma alta taxa de geração de calor, o qual é absorvido em sua maior parte pela peça.

Como afirma Duarte Filho (1998), a alta temperatura aliada à pressão exercida pela ferramenta, ocasiona uma redução significativa na resistência do material. Isso faz com que o mesmo venha a escoar, resultando, desse modo, na furação das chapas com todo o material do furo se apresentando em forma de rebarba ascendente e descendente na periferia do furo.

De acordo com Eckhardt (2003), testes de resistência em buchas escoadas têm apresentado melhores resultados quando comparadas a furos confeccionados por usinagem. Essa diferença pode ser atribuída às alterações microestruturais relacionadas com transformação de fases, recuperação, recristalização e refino de grão na furação por escoamento.

Segundo Lopes (1994), estas transformações microestruturais, como em outros processos de conformação, variam para cada material utilizado e dependem fortemente do estado inicial do material-base, das condições e parâmetros de trabalho e da espessura da chapa, as quais determinam os níveis de deformação e energia térmica aplicados durante o processo.

Pelo que foi mencionado, fica evidente a importância de realizar-se estudos para a determinação da evolução microestrutural na furação por escoamento, visando o entendimento do seu relacionamento, e dos mecanismos e fenômenos metalúrgicos envolvidos no processo.

Nesse trabalho realizou-se uma análise comparativa entre o uso de diferentes condições e parâmetros de trabalho com dois aços estruturais, também chamados aços de alta resistência e baixa liga (ARBL). Essa análise evidencia se o processo pode ser aplicado pela indústria para a conformação desses materiais e quais as melhores circunstâncias.

A seguir são apresentados o objetivo geral da pesquisa e seus objetivos específicos, no capítulo seguinte consta a revisão bibliográfica, na qual são abordados os aspectos relativos ao processo, com base em vários trabalhos.

### 1.1 Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral deste trabalho é investigar através de ensaios não destrutivos a qualidade dimensional das buchas geradas no processo de furação por escoamento em dois aços estruturais, ASTM A-36 e STRENX 700 MCD, em variadas condições e parâmetros de fabricação, com mínima quantidade de lubrificante (MQL) e a seco.

Os objetivos específicos são:

- Investigar a partir das medições os efeitos da variação das condições e parâmetros de trabalho, na qualidade e produtividade do processo, nas condições para os materiais;
- Verificar a viabilidade do processo, comparando os resultados dos ensaios laboratoriais de furação por escoamento MQL e a seco.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão a seguir destina-se à obtenção de conhecimento teórico e científico para aplicação do processo de furação por escoamento MQL e a seco, em aços estruturais ASTM A-36 e STRENX 700 MCD. Para isso são abordados nesse capítulo estudos referentes ao processo de furação por escoamento, bem como seu comportamento em aços estruturais, parâmetros de usinabilidade, comportamento dos aços, entre outros aspectos essenciais para o entendimento do processo.

### 2.1 Histórico do Processo de Furação por Escoamento

O processo de furação por escoamento destina-se à obtenção de buchas escoadas em chapas finas ou peças de pequena espessura por meio de deformação plástica do material. Apesar de não ser uma tecnologia recente, ainda esta em desenvolvimento.

Segundo Lopes (1994), o processo de furação por escoamento foi inicialmente desenvolvido na França em 1923, onde Jean Claude Vallière fez os primeiros experimentos com uma ferramenta rotativa para perfurar chapas finas de aço por escoamento com aquecimento por atrito. Porém, no início surgiram obstáculos tanto econômicos quanto tecnológicos.

Aproximadamente 60 anos depois esses problemas foram solucionados pela disponibilidade de metal duro e pela otimização da geometria da ferramenta, bem como pela disponibilidade de máquinas apropriadas para gerar a geometria complexa da ferramenta. A Figura 1, ilustra uma das primeiras máquinas e ferramentas utilizadas

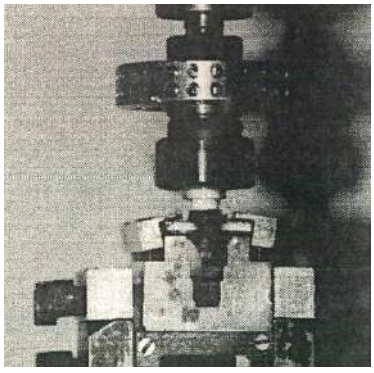


Figura 1: Máquina pioneira na furação por escoamento.

Desde 1977, a Universidade de Siegen na Alemanha, vem desenvolvendo estudos sobre as propriedades do processo. No Brasil em 1991, a Universidade Federal de Santa Catarina iniciou pesquisas nesta área juntamente com a empresa Flowdrill.

As primeiras aplicações para o processo, no Brasil, segundo Tecnologia e Inovação Para Indústria (2003), foi na Mercedes-Benz, iniciada em 1994. Segundo o engenheiro de processos de produção da Mercedes-Benz, Claudemir Merlotte, os resultados foram altamente satisfatórios. Nunca foi verificada a ruptura das peças nas áreas afetadas pelo novo processo.

### 2.2 Processo de Furação por Escoamento

Segundo Koenig (1981), os processos de furação são todos os processos com movimento rotativo principal, nos quais a ferramenta apresenta apenas um movimento de avanço, no sentido do eixo de rotação. Desse modo, o processo de furação por escoamento, pode ser considerado um processo de furação, mas não um processo de usinagem, já que não há a retirada de material. Sendo classificado como um processo de conformação.

De acordo com Eckhardt (2003), o objetivo de obter furos por escoamento do material em chapas relativamente finas, é alcançado graças a uma ferramenta cilíndrica de ponta cônica. Essa penetra na chapa em altas rotações por minuto com avanços que podem ou não ser constantes.

A diminuição da resistência e deformação do material é função da penetração da ferramenta na peça. Nessa fase gera-se calor e deformação plástica em virtude dos lóbulos existentes na ferramenta.

Conforme Ozek e Demir (2013), como consequência da ferramenta não possuir arestas de corte, no decorrer de sua infiltração ela faz com que o material seja obrigado a se movimentar em busca de outro local para se acomodar, levando-o para direções axiais e radiais. Surgem assim rebarbas superiores e inferiores, com espessura de até três vezes a espessura da chapa. Ao conjunto formado pela união da rebarba superior com a rebarba inferior denomina-se bucha, as etapas de sua formação são mostradas abaixo, na Figura 2.

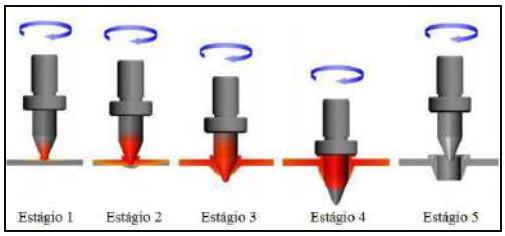



Figura 2: Penetração gradual da ferramenta.

Segundo Boopathi, Shankar, *et al.* (2013), inicialmente são definidos os parâmetros de processo para, a partir daí, dar inicio a furação. No primeiro estágio, a ferramenta toca a peça com rotação e avanço adequado, nesse instante, ainda ocorre deformação a frio, resultando em grandes esforços para a ferramenta. A ponta deve ser capaz de suportar tais adversidades e iniciar o furo.

No segundo e terceiro estágios, há calor gerado devido ao atrito, consequentemente elevação da temperatura e redução da resistência do material. Devido às forças exercidas pela ferramenta sobre a peça, há o deslocamento do volume de material que ocupava o local do furo, esse na forma de rebarbas se aloja tanto na parte superior quanto na parte inferior do furo. Nessa fase também ocorre à passagem da ferramenta pelo material.

No quarto estágio, quando a ponta cônica atravessa por inteiro a peça, já se tem a bucha formada, e cabe à parte cilíndrica da ferramenta o trabalho de ajustar a geometria do furo, deixando-o com diâmetro e rugosidade adequadas.

O estágio final compreende a retirada da ferramenta, esse procedimento deve ser executado com ela ainda em rotação, pois, caso contrário, o material da chapa resfriaria, correndo risco da ferramenta ficar presa à peça, ou então, causar outros danos tanto na ferramenta como na peça.

### 2.3 Características e Requisitos do Processo

O processo de furação por escoamento não é nada mais que, a combinação de um momento torçor com uma força de avanço aplicada.

Segundo Duarte Filho (1998), esses dois esforços variam, sobretudo, em função das características da máquina utilizada, do material e peça, da ferramenta, do lubrificante, da temperatura do processo e do tempo do processo. Essas grandezas caracterizam a cinemática da furação e implicam diretamente na qualidade das buchas formadas.

#### 2.3.1 Material e Peça

Quanto à peça, devem ser levados em consideração o seu material, a geometria, as suas propriedades termofísicas/mecânicas e também a distância entre furos. A espessura mínima necessária da chapa é de 1,5 mm a 2,0 mm, com ferramentas para M6 e M8. Como espessura máxima da chapa têm-se 16,0 mm, com ferramentas de diâmetro maior que 20 mm.

A elevação da espessura da peça, bem como sua resistência mecânica resultam em esforços mais elevados ao processo (OZEK e DEMIR, 2013).

Referente ao material, a furação, pode ser executada em qualquer chapa dúctil e condutora térmica. Destacam-se os aços de baixo carbono.

A condutividade térmica tem grande influência no processo, uma vez que materiais de baixa condutividade térmica não absorvem calor. Baixas temperaturas impossibilitam o amolecimento suficiente do material, resultando em altíssimas forças para realização do processo.

### 2.3.2 Qualidade das Buchas Formadas

A geometria e a condição da bucha formada são imprescindíveis para a realização de futuras operações sobre o furo e sobre a peça possivelmente a ser montada. A forma da bucha é estabelecida pelo tipo de ferramenta usada.

Conforme Eckhardt (2003), as dimensões principais da bucha são a espessura da parede, o diâmetro do furo e comprimento total da bucha. Outros parâmetros importantes para caracterizar a bucha formada são a qualidade das rebarbas inferiores e a resistência à tração.

A qualidade das rebarbas é determinada por um sistema de classificação criado por Lopes (1994). Nessa metodologia a qualidade das rebarbas representa, dentro de faixas determinadas, à porcentagem (δ) do comprimento total da bucha (ℓ), que é atingida pela profundidade da ruptura formada na extremidade inferior da rebarba. As profundidades de ruptura máximas admissíveis para cada grupo de qualidade são ilustradas na Figura 3.

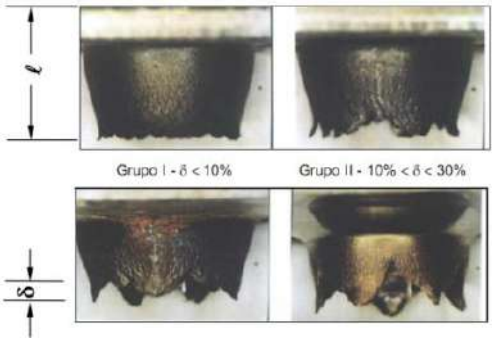



Figura 3: Grupos de qualidade das rebarbas inferiores.

A qualidade das rebarbas tem grande influência das condições de operação e da relação entre o diâmetro da ferramenta e a espessura da chapa.

Conforme Eckhardt (2003), a grandeza de maior importância é a rotação da ferramenta, que produz a maior parcela de calor para que ocorra o escoamento do material. A velocidade de avanço, quando constante, não tem muita influência. Em aços de baixo carbono, baixas rotações produzem as buchas de melhor qualidade.

## 2.4 Aços Estruturais

O aço é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas. É produzido de diferentes tipos e formas, todas elas visando uma aplicação específica. Nas construções que utilizam estruturas metálicas, o maior interesse é sobre os chamados aços estruturais.

Os aços estruturais são caracterizados por terem média e alta resistência mecânica e pelos baixos teores de carbono. Contemplam requisitos fundamentais para a utilização em elementos sujeitos a carregamentos. Segundo CBCA (2014), são eles, elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem aparecimento de fissuras ou outros defeitos.

Esses materiais, de acordo com Shackelford (2008), têm aplicações desde esferas de rolamento até chapas de metal conformadas na fuselagem de automóveis.

O mais utilizado é o ASTM A-36, o mais popular dos aços estruturais. Porém o aço, STRENX 700 MCD, de acordo com a fabricante SSAB (2018), também é muito utilizado, principalmente em componentes de estruturas críticas de sustentação de carga.

### 2.4.1 Aço ASTM A-36

Os aços comumente recomendados no mundo inteiro para utilização em estruturas metálicas, pontes, viadutos e fundações são os aços de alta resistência e baixa liga. Esse tipo de material, conforme a CBCA (2014), apresenta elevada resistência à corrosão atmosférica.

São enquadrados em diversas normas, tais como as brasileiras NBR 6650, 5920, 5921 e 7007 e as norte-americanas ASTM A-36, A-242, A-588 e A-709, que especificam limites de composição química e propriedades mecânicas.

Sua alta resistência é resultado da seleção da liga ideal e do processamento de laminação à quente controlado cuidadosamente, com deformação em temperaturas suficientemente elevadas para permitir algum alívio de tensão.

A Figura 4 a seguir apresenta a tabela presente na norma NBR 6650, especificando requisitos básicos de propriedades mecânicas para chapas finas de aço-carbono laminadas à quente para uso estrutural.

| Grau | Limite de escoamento mínimo (MPa) | Limite de resistência à tração mínimo (MPa) | Alongamento mínimo após ruptura $L_0 = 50$ mm (%) Espessura nominal - e | | Dobramento a 180°(A) calço |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | e < 3,0 | e ≥ 3,0 | |
| CF-21 | 210 | 340 | 22 | 25 | 1,0 e |
| CF-24 | 240 | 370 | 20 | 23 | 1,5 e |
| CF-26 | 260 | 410 | 18 | 22 | 2,0 e |
| CF-28 | 280 | 440 | 17 | 21 | 2,5 e |
| CF-30 | 300 | 490 | 16 | 19 | 3,0 e |

(A) e = espessura do corpo-de-prova.

Figura 4: Requisitos básicos para chapas de uso estrutural.

De acordo com o exposto, pode-se afirmar que apesar de ser utilizado desde a revolução industrial o aço de alta resistência e baixa liga ASTM A-36, continua apto para inúmeras aplicações, tendo em vista seus limites de escoamento mínimos.

### 2.4.2 Aço Strenx 700 MCD

É um aço estrutural, fabricado pela empresa líder mundial, SSAB, no desenvolvimento de aços de alta resistência. Essa indústria com sede em Estocolmo – Suécia, esta presente também no Brasil, onde desenvolve constantemente novas tecnologias.

O aço STRENX 700 MCD é laminado a quente, possui limite de escoamento mínimo de 700 MPa, proporciona a construção de estruturas mais resistentes e leves. O Quadro 1 demonstra as propriedades mecânicas mínimas desse aço.

| **Espessura** (mm) | **Capacidade de Carga Mínima** (MPa) | **Resistência a Tração** (MPa) | **Alongamento** espessura < 3 (mm) | **Alongamento** espessura > 3 (mm) | **Raio de Curvatura Mínimo** (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 - 3 | 700 | 750 - 950 | 10 | 12 | 0,8 * espessura |
| 3,01 - 6 | 700 | 751 - 950 | - | 12 | 1,2 * espessura |
| 6,01 - 10 | 700 | 752 - 950 | - | 12 | 1,6 * espessura |

Quadro 1: Propriedades mecânicas do aço STRENX 700 MCD.

Como demonstrado, a utilização desse material visa à otimização de estruturas, permitindo aumentar a capacidade de suportar esforços com peso e dimensões reduzidas.

Consegue-se isso através da presença em sua composição química de C, Si, Mn, P, S, Al, Nb, V, Ti em concentrações muito pequenas, que fornecem ao material alta resistência com baixo teor de carbono.

Esse material é uma grande tendência na substituição de materiais já consagrados nessas aplicações, como é o caso do aço ASTM A-36.

## 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esse capítulo descreve o processo metodológico para a realização do trabalho, norteado por um estudo anterior realizado por meio de testes experimentais. Trata-se da descrição do processo para obter a mensuração da qualidade do processo de furação por escoamento realizada em dois diferentes aços estruturais.

### 3.1 Condições de Trabalho

A seleção das condições de trabalho tais como rotação (n), velocidades de avanço (Vf) e fluido lubrificante, baseou-se nos parâmetros usuais no processo de furação por escoamento de outros tipos de materiais cujas características são semelhantes às utilizadas nesse trabalho. Também fez-se necessário uso de tabelas práticas fornecidas pelo fabricante de ferramentas.

O Quadro 2 apresenta as condições e parâmetros utilizados nesse trabalho, sendo que os parâmetros e corpos de prova utilizados são pertinentes a tese de doutorado do professor Leandro Dóro Tagliari, (2018). As peças produzidas sob essas condições serão analisadas nesse trabalho.

| **Aço STRENX 700 MCD** | | | |
|---|---|---|---|
| **Condição** | **Velocidade de Avanço [mm/min]** | **Rotação [RPM]** | **Fluido Lubrificante** |
| **1** | 200 | 2500 | Sem |
| **2** | 250 | 2000 | Sem |
| **3** | 300 | 1500 | Sem |
| **1** | 200 | 2500 | Com |
| **2** | 250 | 2000 | Com |
| **3** | 300 | 1500 | Com |
| **Aço ASTM A-36** | | | |
| **Condição** | **Velocidade de Avanço [mm/min]** | **Rotação [RPM]** | **Fluido Lubrificante** |
| **1** | 200 | 2500 | Sem |
| **2** | 250 | 2000 | Sem |
| **3** | 300 | 1500 | Sem |
| **1** | 200 | 2500 | Com |
| **2** | 250 | 2000 | Com |
| **3** | 300 | 1500 | Com |

Quadro 2: Condições e parâmetros utilizados no processo.

Quanto à aplicação de fluido lubrificante durante o processo, optou-se pelo uso de fluido composto de óleo semi-sintético e água, tendo 80% água e 20% óleo, aplicado pelo método da atomização (MQL) sobre a peça.

O método de aplicação merece destaque por ser uma tendência global e realidade em vários locais do mundo, visando diminuir desperdícios e custos na aplicação do fluido.

### 3.2 Corpos de Prova

Os corpos de prova empregados para a execução dos testes foram feitos a partir de chapas de aços estruturais, STRENX 700 MCD e ASTM A-36, com espessura de 3,0 mm. A seleção do material e sua espessura foram feitas com base em sua ampla utilização pela indústria metal-mecânica em geral, o que torna esse estudo de grande utilidade.

Os corpos de prova nos quais os testes foram realizados consistem em chapas com dimensões pré-definidas, 150 mm x 50 mm x 3,0 mm. Cada corpo de prova suporta a realização de até três furos sem que se comprometa a análise da área da região mecânica e termicamente afetada (ZMTA). A Figura 5 apresenta o desenho técnico do corpo de prova, com suas respectivas dimensões e detalhes particulares.



Figura 5: Peça produzida pelo processo de furação por escoamento.

Percebe-se no corpo de prova pronto, furos menores em seu contorno produzidos por furação convencional. Destinam-se apenas para a fixação da peça na máquina utilizada para efetuar a furação por escoamento. Nota-se também que todos os corpos de prova produzidos foram marcados identificando seu material e as condições de trabalho do processo.

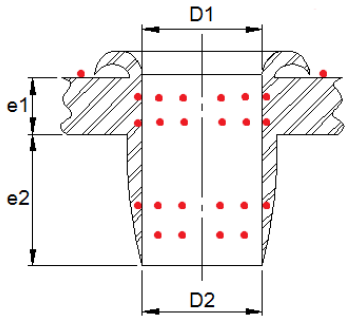
### 3.3 Análise Dimensional das Buchas

Após a definição dos parâmetros a estudar a fim de caracterizar o comportamento de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), concluiu-se que seria necessário avaliar a geometria resultante da furação por escoamento. Nesta etapa foram avaliados comprimento da bucha escoada, cilindricidade e conicidade de acordo com os ensaios realizados.

A fim de medir os parâmetros de forma, cilindricidade e conicidade, utilizou-se uma máquina de medição por coordenadas marca MITUTOYO, modelo CRISTA PLUS M 7106 com deslocamento em X, Y e Z. De capacidade de deslocamento no eixo X de 700 mm, no eixo Y de 1000 mm e no eixo Z de 600 mm. O equipamento é conectado a um software chamado GEOPAK.

Na medição de cilindricidade dos furos, definem-se dois pontos ao longo do comprimento da furação para a realização da medição, um é na parte superior do furo, onde a ferramenta inicia o processo de furação e outro é na região da bucha escoada, onde a ferramenta termina o processo. A Figura 6 (a) mostra o equipamento utilizado e a figura 6 (b) ilustra o esquema de pontos de medições para a coleta de dados a fim de determinar os desvios de cilindricidade e conicidade.






(a): Máquina tridimensional de medição. (b): Esquema de pontos para medição.

Figura 6: Medição de cilindricidade e conicidade.

Faz-se a medição de circularidade propriamente dita através de 8 pontos de contato em torno do furo, nas regiões especificadas. Obtêm-se dessa forma a diferença entre os centros dos diâmetros medidos, verificando quanto o furo é cilíndrico. De mesma forma obtêm-se o índice de conicidade do furo, nesse caso a medição é perpendicular ao furo, tendo assim o ângulo entre o diâmetro superior e o diâmetro inferior.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

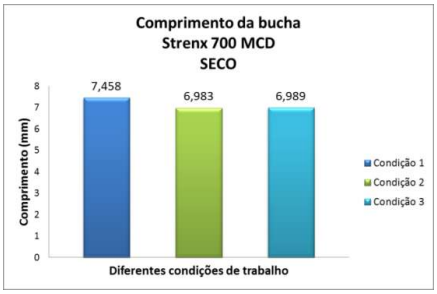
Esse capítulo apresenta os resultados obtidos ao longo do Trabalho Final de Graduação, bem como as dificuldades encontradas e de que maneira as mesmas foram confrontadas ao longo do estudo.

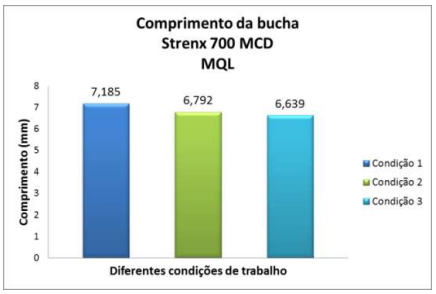
Entre os resultados obtidos, pode-se destacar a conclusão da revisão bibliográfica, uma vez que a mesma contempla um estudo teórico sobre o processo de furação referente a esse trabalho. Além disso, as análises metalográficas, ensaio de microdureza e análise dimensional foram finalizadas para o aço STRENX 700 MCD a seco e MQL bem como para o aço ASTM A-36 a seco e MQL, com os diferentes parâmetros de trabalho definidos

### 4.1 Análise Dimensional

Foram avaliados o comprimento da bucha escoada, cilindricidade e conicidade do furo. Essas características geométricas se fazem importantes para a caracterização do processo nas diferentes condições e parâmetros de trabalho.

Os resultados obtidos para a medição do comprimento da bucha escoada, como descrito do capítulo anterior, são apresentados nos Gráficos 1 (a) e 1 (b), a seguir.



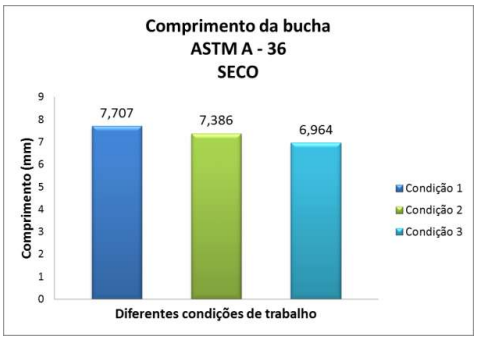

(a): Condição de trabalho a seco. (b): Condição de trabalho MQL.

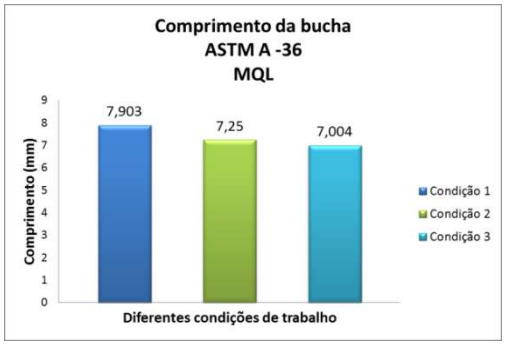
Gráfico 1: Comprimento da bucha escoada no material Strenx 700 MCD.

O comprimento da bucha escoada pelo processo de furação no material Strenx 700 MCD, tanto trabalhado a seco como trabalhado com MQL, obteve resultados semelhantes, de acordo com o gráfico 9. Na condição 1 os valores foram

maiores, sendo a seco 7,458 mm e com MQL 7,185 mm. Na condição 2, valores intermediários, a seco 6,983 mm. Já com MQL obteve-se média de 6,792 mm de comprimento.

Para a condição 3, a qual obteve os menores valores de comprimento da bucha escoada, obteve-se no trabalho a seco cerca de 6,989 mm em média. Com MQL foi registrado 6,639 mm. O comprimento da bucha gerada pelo processo de furação por escoamento no material ASTM A – 36, trabalhado a seco e com MQL se pode observar no Gráfico 2 manteve-se padrão.




(a): Condição de trabalho a seco. (b): Condição de trabalho MQL.

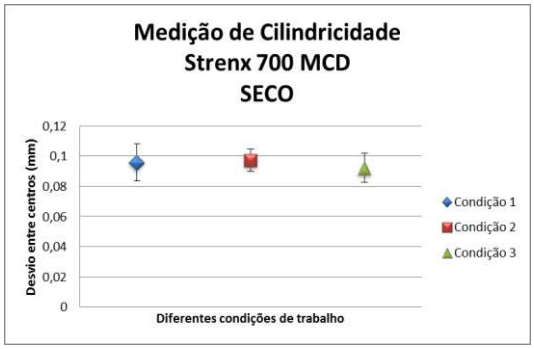
Gráfico 2: Comprimento da bucha no material ASTM A – 36.

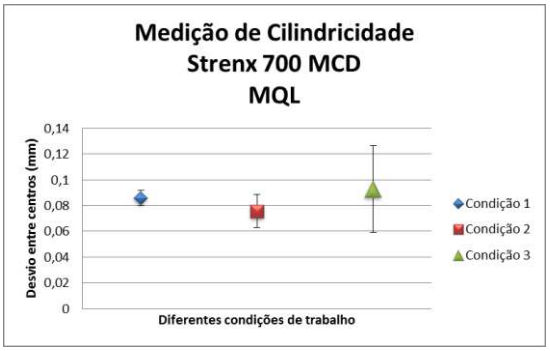
O comprimento da bucha gerada pelo processo de furação por escoamento no material ASTM A – 36, trabalhado a seco e com MQL manteve-se padrão. A condição 1 apresenta maior valor de comprimento, a condição 2 mostra um valor intermediário e a condição 3 contém o menor valor, segundo o gráfico 2.

A condição 1 para o material ASTM A – 36 trabalhado a seco, apresenta comprimento da bucha cerca de 7,707 mm em média. Com MQL apresenta cerca de 7,903 mm em média. A condição 2 para trabalho a seco mostra cerca de 7,386 mm em média de comprimento da bucha escoada. Com MQL apresenta cerca de 7,25 mm em média. A condição 3 para trabalho a seco tem 6,964 mm em média de comprimento da bucha gerada. Com lubrificação MQL apresenta cerca de 7,004 mm em média.

Na comparação dos materiais Strenx 700 MCD e ASTM A - 36, observa-se que tanto na operação a seco como MQL o material ASTM A36, possibilitou maior escoamento e gerou bucha com maior dimensional de comprimento.

Os resultados obtidos para a medição da cilindricidade no material Strenx 700 MCD são apresentados nos Gráficos 3 (a) e 3 (b), a seguir.



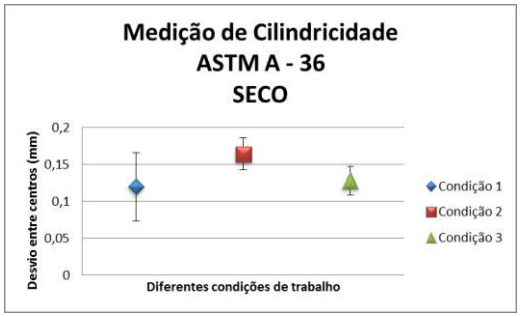

(a): Resultado para Strenx trabalhado a seco. (b): Resultado para Strenx trabalhado com MQL.

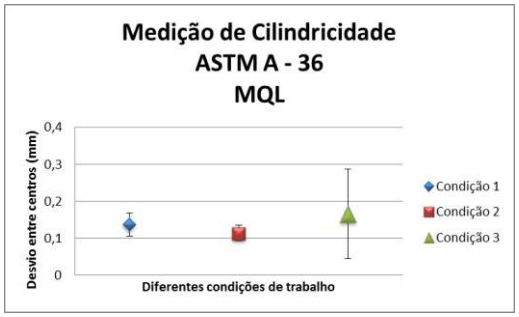
Gráfico 3: Resultado da medição de cilindricidade no material Strenx 700 MCD.

De acordo com o Gráfico 3 (a), percebe-se que houve pouco desvio entre os centros do diâmetro inicial da bucha e o diâmetro final da bucha. Há leve variação nas condições 1 e 3, a condição 2 é a que apresenta menor variação.

O gráfico 3 (b) mostra que na condição de trabalho com MQL, a maior variação e maior desvio entre centros esta na condição 3. As condições 1 e 2, apresentam variações e desvios menores.

Os resultados para a medição de cilindricidade no material ASTM A – 36, são apresentados nos Gráficos 4 (a) e 4 (b), a seguir.



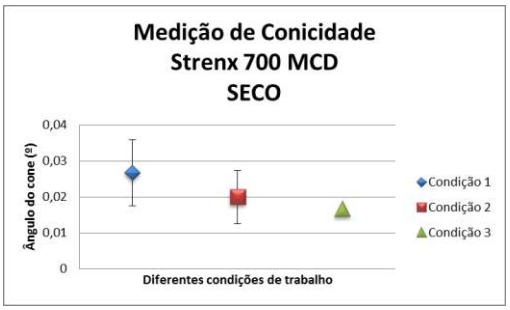



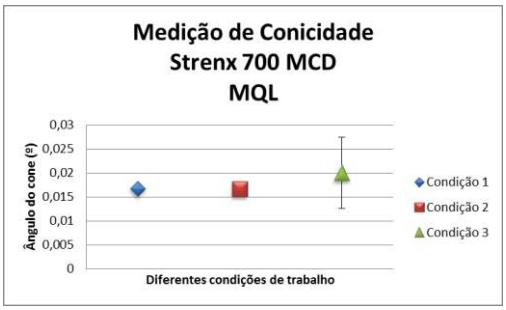

(a): Resultado para ASTM A – 36 a seco. (b): Resultado para ASTM A – 36 com MQL.
Gráfico 4: Resultado da medição de cilindricidade no material ASTM A – 36.

O Gráfico 4 (a) demonstra que a condição 2 é a que apresenta maior desvio entre centros, porém a maior variação se mostra na condição 1, mesmo essa tendo o menor erro de cilindricidade. O Gráfico 4 (b) evidencia que a condição 3 se mostra a mais variável e com maior desvio entre centros quando comparada com as condições 1 e 2 para o material ASTM A – 36 trabalhado com MQL.

Na comparação dos materiais Strenx 700 MCD e ASTM A - 36, observa-se que a seco o ASTM A36 apresentou maior variação. No MQL a variabilidade foi menor devido a uma maior homogeneidade de aporte térmico.

Os resultados para a medição de conicidade no material Strenx 700 MCD são apresentados nos Gráficos 5 (a) e 5 (b), abaixo.



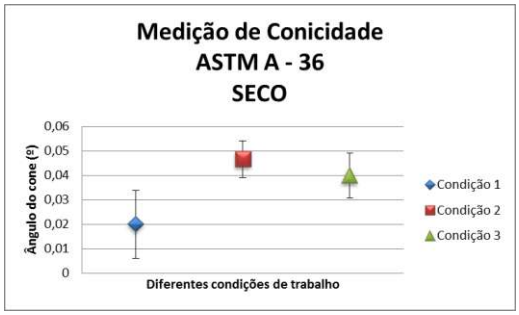



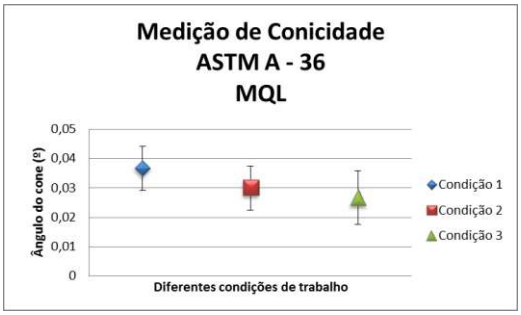

(a): Resultado para Strenx trabalhado a seco. (b): Resultado para Strenx com MQL.
Gráfico 5: Resultado da medição de conicidade no material Strenx 700 MCD.

O Gráfico 5 (a) demostra que a condição 1 é a que mais varia e apresenta maior índice de conicidade em relação as demais condições. A condição 3 não apresenta variação e tem o menor desvio de dimensão para o material Strenx 700 MCD na condição de trabalho a seco.

O Gráfico 5 (b) apresenta a condição 3 como a de maior índice de conicidade, também é essa condição a que mais varia. As condições 1 e 2, mostram-se sem variações e de mesma ordem de grandeza quanto a deformações nos diâmetros inicial e final da bucha feita no material Strenx 700 MCD, trabalhado com MQL.

Os resultados para a medição de conicidade no material ASTM A - 36 são apresentados nos Gráficos 6 (a) e 6 (b), a seguir.




(a): Resultado para ASTM A - 36 a seco. (b): Resultado para ASTM A – 36 com MQL.
Gráfico 6: Resultado das medições de conicidade no material ASTM A – 36.

O Gráfico 6 (a) mostra grande diferença entre a condição 1 e as condições 2 e 3. A condição 1 apresenta menor índice de conicidade, porém com a maior variação. As condições 2 e 3 embora variem menos, apresentam as maiores deformações de forma para o material ASTM A – 36 trabalhado a seco.

O Gráfico 6 (b) evidencia que a condição 1 é a de maior índice de conicidade, seguida da condição 2 e condição 3. Todas apresentam variações uniformes, sendo levemente maior na condição 3. Na comparação dos materiais Strenx 700 MCD e ASTM A - 36, observa-se que a seco o ASTM A36 apresentou maior variação. No MQL a variabilidade foi menor devido a uma maior homogeneidade de aporte térmico.

## 5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento dessa pesquisa possibilitou a apresentação do processo de furação por escoamento bem como a avaliação da microestrutura de aços de alta resistência e baixa liga. As atividades propostas no que diz respeito à investigação do comportamento dos aços escolhidos e submetidos ao processo foram satisfatoriamente concluídas.

De acordo com o objetivo específico de investigar a partir dos ensaios laboratoriais os efeitos da variação das condições e parâmetros de trabalho, na qualidade e produtividade do processo, nas condições estipuladas e para os materiais em estudo, pode-se concluir que o trabalho conseguiu respostas condizentes com a realidade. Essa afirmação pode ser confirmada comparando-se os resultados das análises dimensionais.

O comprimento da bucha gerada tanto no material Strenx 700 MCD como no ASTM A – 36, sendo MQL ou a seco, manteve um padrão bastante similar. Esse padrão evidencia que o maior comprimento de bucha é gerado na condição 1. Sendo que um comprimento intermediário é gerado na condição 2 e finalmente a condição 3 que gera o menor comprimento de bucha nos dois materiais e nas diferentes condições de trabalho.

Quanto a cilindricidade e conicidade, o material que obteve maior uniformidade nas medições foi o aço Strenx 700, tanto trabalhado com MQL ou a seco. Para esse material a condição MQL favorece a qualidade, uma vez que quando comparada a condição a seco, apresenta valores de menor ordem de grandeza nos desvios de forma.

Para o material ASTM A – 36, a condição MQL é benéfica em relação a cilindricidade e conicidade, uma vez que produziu peças com desvios uniformes e de menor ordem de grandeza quando comparadas ao processo executado a seco.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIN. **DIN 8589-2 - Feritigungsverfahren Spaen Teil 2: Bohren-Einordnung, Unterteilung, Begriffe**. Beuth Verlag GmbH. Berlim, Alemanha, p. 12. 2013.

ABNT. **NBR 6650 - Chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1986.

ABNT. **NBR 13284 - Preparação de Corpos de Prova para análise Metalografica - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1995.

BOOPATHI, M. et al. www.elsevier.com/locate/procedia. **Elsevier**, 2013. Disponivel em: <https://core.ac.uk/download/pdf/82554987.pdf>. Acesso em: 23 Agosto 2018.

ECKHARDT, M. **Relação entre Processo, Microestrutura e Propriedades Mecânicas na Furação por Escoamento de Aço de Baixo Carbono**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

FILHO, O. C. D. **Estudo Microestrutural e de Capacidade de Carga na Furação por Escoamento com Condições de Trabalho Variáveis em Processo**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1998.

KOENIG, W. **Fertigunsgsveifahren:** Drehen, Fraesen, Bohren. [S.l.]: Duesseldorf, v. I, 1981.

LOPES, J. C. O. **Furação por Escoamento e Rosqueamento por Conformação**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1994.

OZEK, C.; DEMIR, Z. www.tem-journal.com. **Tem Journal**, 2013. Disponivel em: <http://www.temjournal.com/documents/vol2no1/pdf/INVEST%C4%B0GATE%20THE%20FRICTION%20DRILLING%20OF%20ALUMINIUM%20ALLOYS%20ACCORDING%20TO%20THE%20THERMAL%20CONDUCTIVITY.pdf>. Acesso em: 23 Agosto 2018.

SSAB. SSAB. **www.ssab.com.br**, 2018. Disponivel em: <https://www.ssab.com.br/products/brands/strenx>. Acesso em: 25 Agosto 2018.

TAGLIARI, L. D. **Avaliação do Desempenho em Sustentabilidade Utilizado nos Processos de Manufatura de Furação Convencional e Furação por Escoamento**. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo. 2018.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE DISPLAY BRAILLE DE BAIXO CUSTO

**Juliano Varella D'Avila**
**Márcio Walber**
**Jocarly Patrocínio de Souza**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo-RS, CEP 99052-900
177611@upf.br; mwalber@upf.br; jocarly@upf.br

***Resumo:*** *Atualmente as tecnologias de display braille atualizável apresentam custos elevados para a maioria dos deficientes visuais. Portanto uma proposta que torne esse tipo de dispositivo economicamente acessível viabilizaria a inclusão dos cegos com baixo poder aquisitivo. Isso é possível através da eficiência, portabilidade, integração com tecnologias atuais e facilidades para fabricação em massa. Para isso é proposto o conceito de um novo tipo de display apoiando essa busca através de métodos de desenvolvimento de produtos. Serão relacionados os requisitos de projeto e posteriormente o conceito do produto será determinado e avaliado. Para avaliação da eficiência, candidatos realizarão ensaios de leitura comparando o tempo e as falhas através do sistema convencional em alto relevo com o display proposto. O conceito desenvolvido simplifica ao máximo os sistema atuais, utilizando apenas a peça fundamental de todo e qualquer dispositivo eletrônico: a placa de circuito impresso. Este projeto é viável porque une a eficiência do produto com a redução dos custos de produção.*

***Palavras Chave:*** *Display, Braille, Atualizável, Acessível, Inclusão.*

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é ampliar o acesso dos deficientes visuais à informática através do sistema de escrita em braille, porque mesmo atualmente com a oferta de sistemas baseados em áudio, de acordo com Santos, *et al.*, 2016, o acesso à literatura por pessoas cegas vem acontecendo, prioritariamente, através do sistema braille. Para tanto, este estudo propõe o desenvolvimento de uma nova tecnologia assistiva (TA), definição recentemente introduzida por Bersch, 2017, utilizada universalmente, onde no caso da deficiência visual, conforme Sá, *et al.*, 2007, o acesso dos deficientes visuais à informática é tão revolucionário quanto a invenção do próprio sistema braille, sendo este incorporado através das denominadas linhas ou displays braille, entretanto esses dispositivos são caros e raros. Logo, o desenvolvimento de displays eficientes e de baixo custo é determinante para o acesso dos deficientes visuais à informática.

Como esse dispositivo retorna informação para o usuário a partir do respectivo equipamento de informática, trata-se de uma interface homem máquina operando em via única (da máquina para o homem) e compondo apenas parte de um conjunto. Assim, como este trabalho visa a ampliação do acesso, é desejável a compatibilidade dessa interface com as tecnologias mais difundidas e atuais para o acesso à informação, como os *smartphones*, pois estes estão presentes até mesmo nas faixas carentes da população mundial, facilitado não apenas pela capacidade como também pela portabilidade de um equipamento pequeno, leve e de baixo consumo. Portanto, seria altamente desejável que um dispositivo capaz de interagir com um *smartphone* apresente tamanho, peso e demanda energética menores que este aparelho.

Entretanto, o custo final de um produto é inversamente proporcional à sua escala de fabricação, o que exige facilitações técnicas que contribuam positivamente para a reprodução massiva, conduzindo à produção automatizada. Consequentemente esse dispositivo precisaria apresentar projeto compatível com uma ampla escala produtiva, além de utilizar materiais e componentes pré-existentes e abundantes no mercado, pois o uso de componentes especiais ou inéditos implicaria no desenvolvimento de produtos paralelos específicos e portanto em baixa escala, elevando o custo.

Ademais, independente da fabricação, este produto precisa ser prioritariamente eficiente na transmissão da informação, aliado à facilidade de integração com as tecnologias da informação disponíveis.

Para o desenvolvimento de um projeto capaz de solucionar harmonicamente os diversos quesitos elencados acima, buscou-se a metodologia de projeto proposta por Pahl, *et al.*, 2005a, composta de quatro fases, como pode ser observado na Figura 1.

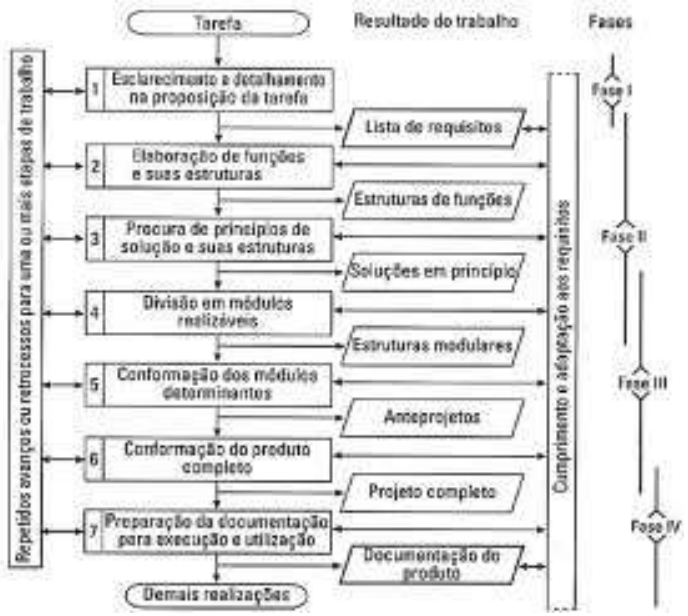



Figura 1. Metodologia de Pahl, *et al.*, 2005

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do conceito do display braille foram utilizadas as duas primeiras fases propostas por Pahl, *et al*., 2005b. Buscou-se com a utilização dessas fases a determinação correta do planejamento da tarefa a ser desenvolvida, a criação de uma lista de requisitos, as funções requeridas para o equipamento, o atendimento dessas funções e a criação de um conceito de produto que atende ao proposto.

### 2.1 Planejamento do produto

Para auxilio no planejamento do produto, utilizou-se uma adaptação da linha mestra, proposta por Pahl, *et al*., 2005c, onde características determinantes para um equipamento de informática, tais como: energia e memória, foram adicionados em substituição aos itens controle de qualidade e montagem, pois o primeiro foi considerado demasiado prematuro para a formulação de requisitos e no caso do segundo, está implícito no item produção.

#### 2.1.1 Lista de Requisitos

Utilizando a linha mestra, foi definida a lista de requisitos do produto, que está exposta no Quadro 1. Os requisitos foram classificados em: E – Exigência, ou seja, o que deve ser cumprido; DA – Desejo alto, ou seja, não é uma obrigação mas existe uma vontade muito grande que o requisito seja cumprido; e DB – Desejo baixo, ou seja, não é uma obrigação, mas existe uma pequena vontade que seja cumprido.

Quadro 1. Lista de requisitos do produto

| LINHA MESTRA | E/DA/DB | REQUISITOS |
|---|---|---|
| Geometria | DA | Possuir medidas laterais máximas de 50mmX100mm |
| | DA | Possuir altura máxima de 10mm |
| Cinemática | DA | O display deverá possuir o mínimo de partes móveis (ou nenhuma) para operar |
| Forças | E | Suportar as cargas mecânicas decorrentes do seu manuseio e utilização |
| | DA | Suportar quedas de até 1m de altura sem sofrer danos significativos |
| Matéria | E | O material em contato com a digital do usuário deverá suportar ataques químicos/físicos |
| | DA | O material em contato com a digital do usuário não deve desgastar antes de 5 anos |
| | DA | Peso total máximo 200g com bateria ou 100g sem bateria |

(*) Parte ou todos os requisitos de sinal, energia, memória e segurança podem ser fornecidos pelo equipamento de informática onde o display será instalado, reduzindo volume e peso do dispositivo projetado. Continua na próxima página.

Quadro 2. Lista de requisitos do produto (Continuação)

| LINHA MESTRA | E/DA/DB | REQUISITOS |
|---|---|---|
| Sinal | E | Não emitir quaisquer sinais audíveis para a apresentação de textos |
| | E | Processamento de sinal suficiente para textos em braille em uma leitura normal * |
| | E | O aparelho possuirá conexão tipo USB ou similar * |
| | E | Velocidade de comunicação compatível com os computadores e celulares atuais |
| | E | Compatível com os caracteres ASCII traduzíveis em braille * |
| | DA | O aparelho possuirá comunicação WiFi compatível com computadores e celulares |
| | DA | Compatível com o programa OCR * |
| | DB | Alerta sonoro para ligar, desligar, bateria baixa e/ou durante ajustes |
| | DB | Velocidade de process. compatível com os equipamentos mais rápidos do mercado * |
| Energia | E | Tensão de alimentação de 3Vdc a 5Vdc * |
| | E | A bateria deverá ser disponível comercialmente (ou ser a mesma do aparelho base) * |
| | DA | O consumo do *display* deverá proporcionar autonomia de 8h diárias sem sobreaquecer * |
| | DA | A bateria deverá apresentar altura máxima de 7mm * |
| | DA | A carga da bateria deverá durar no mínimo 6 meses para até 8h diárias de uso * |
| | DB | A bateria será recarregável (ou ser a mesma do aparelho base) * |
| Memória | E | Memória suficiente para o programa básico com velocidade de leitura normal * |
| | DA | Memória para registrar e manter os ajustes realizados antes de ser desligado * |
| | DB | Espaço para eventual expansão de memória * |
| Segurança | E | Proteção contra eventuais choques elétricos |
| | E | Proteção contra aquecimentos e prevenção contra eventuais explosões (bateria) * |
| Produção | DA | Produção automatizada |
| Ergonomia | E | As selas braille deverão atender tanto aos adultos quanto crianças |
| | E | A área ativa do display deverá ser delimitada por marcação em alto relevo |
| Manutenção | DA | O intervalo de manutenção preventiva deve ser maior que 1 ano |
| Regulagem | DA | O usuário poderá ajustar frequência e intensidade das informações |
| Prazos | E | O projeto detalhado deve estar pronto até dezembro de 2019 |
| Custos | E | O custo máximo do equipamento deve ser de U$ 10,00 |

(*) Parte ou todos os requisitos de sinal, energia, memória e segurança podem ser fornecidos pelo equipamento de informática onde o display será instalado, reduzindo volume e peso do dispositivo projetado.

A geometria revela o desejo alto da possibilidade de integração com os *smartphones*, pois as medidas são compatíveis com esses aparelhos, porém isso não é imprescindível. A eliminação de partes móveis é compatível com a facilidade de fabricação, aumento de durabilidade, diminuição de custos e redução do consumo pela ausência de atritos. A rigidez mecânica é fundamental, exceto no caso de impactos em quedas, pois dispositivo estará associado com outro, então a massa do dispositivo base influenciará de tal forma que este quesito não pode ser tratado como pétreo. Quanto aos materiais, a resistência aos ataques químicos é prioritária, com especial atenção ao desgaste da interface, pois a digital do usuário realizará atritos repetitivos, e quanto à massa total, esta foi compatibilizada com os *smartphones*. Dentre os requisitos de sinal, vibrações audíveis relacionadas com o funcionamento do dispositivo, como no caso de um display piezoelétrico, por exemplo, seria inadequado para o uso dos deficientes visuais porque estes apresentam sensibilidade auditiva, então haveria uma interferência sensorial indesejada. Para os demais requisitos de sinal, energia, memória e segurança, deve-se considerar a observação abaixo do Quadro 1. A produção automatizada diminui o custo de produção impactando no valor final ao usuário. A ergonomia adequada aos usuários cegos é fundamental, o que é coerente com a regulagem da intensidade e frequência das informações. Frequência de manutenção alongada é altamente desejável, especialmente quando a mobilidade do usuário é limitada.

## 2.2 Concepção

Definida a lista de requisitos, passou-se para a segunda fase da metodologia de Pahl, *et al*., 2005d, estabelecendo a concepção do produto. Utilizando-se da lista de requisitos e a ferramenta de abstração, proposta pelos autores, se definiu a função global que o produto deve cumprir. A Figura 2 apresenta o fluxograma das entradas, saídas e a função global determinada, assim como as subfunções principais e secundárias para o atendimento da função principal.

A função principal sintetiza o objetivo do projeto, tendo como entradas a informação a ser lida, oriunda do equipamento de informática, a energia elétrica da bateria, seja ela externa ou interna, e o controle de intensidade e velocidade desejados pelo usuário. Enquanto as saídas são o próprio texto em braille, o sinal audível (bip) que informa o usuário que o dispositivo foi acionado ou desacionado, seja por funcionamento normal ou alerta por sobretemperatura, e a energia que for utilizada para a sensibilização tátil, que pode ser a colocação e retirada de pontos da sela braile com movimento eletromecânico, ou então a vibração de pontos dessa sela braille, ou ainda a descarga elétrica direta na

digital do usuário através de eletrodos. Observa-se que neste sistema não existe fluxo material, ou seja, nenhuma entrada ou saída material é necessária, mas apenas informação (sinal) e energia, pois trata-se apenas de um dispositivo de comunicação entre o usuário e a máquina. Enquanto as subfunções explicitam as relações de informação e energia entre as etapas que implementam as características desejadas para a função principal, através de sequências lógicas cujas interdependências são determinadas pelas setas. Cada subfunção deverá ser constituída por componentes e/ou circuitos eletrônicos (*hardware*) e seus respectivos algoritmos (*software*), desse modo, os blocos de hierarquia mais baixa serão compatíveis com essa forma de construção.

Como pode ser visto no detalhamento apresentado na Figura 2, o vetor de entrada 'eletricidade' naturalmente distribui-se livremente, permeando as funções e alcançando todos os subsistemas elencados, por tratar-se de circuitos eletrônicos, o que será realizado pela futura topologia da placa de circuito impresso a ser projetada em futura etapa. As quatro subfunções acima do desenho correspondem aos futuros circuitos básicos ou periféricos ao tratamento dos sinais, então se dedicam a alimentar, amplificar e cuidar da segurança sensoriando a temperatura para eventualmente advertir o usuário. Enquanto o vetor de entrada 'sinal informática' é tratado pelas três subfunções centrais, sendo primeiramente recebido, o que poderia ser entendido como por exemplo um receptor de rádio como um *Wi Fi* ou então no caso do uso de cabos de sinal como USB essa recepção seria apenas a conversão do sinal serial, mas de qualquer forma esse sinal deve ser transformado ou convertido em uma sequência lógica inteligível ao sistema de display. O controlador de intensidade e velocidade do texto, no centro do desenho, se refere a um sistema capaz de receber o sinal convertido e ao mesmo tempo realizar as condições de leitura impostas externamente pelo usuário, através do controle externo, seja esse um botão, um sensor de toque ou quaisquer outras formas capazes de comunicar o desejo do usuário. Lembrando que se não existir esse controle, então simplesmente a velocidade dos dados será tão elevada que o usuário não conseguirá entender. Logo, uma linha braille, que contém uma frase, necessita permanecer estática até que lhe seja dado o comando para a sua renovação. Também a intensidade do sinal de saída deverá ser controlada, especialmente no caso de vibrações ou eletricidade direta serem fornecidos aos dedos do leitor, então a esta subfunção deverá ser capaz de compreender o comando do usuário, convertendo isso em comandos adequados. A conversão do display se refere à transformação do sinal que estará em forma de eletricidade, proveniente do controlador de intensidade e velocidade, para o sinal definitivo ou de saída, o que pode ser em forma de energia mecânica como movimento do núcleo de solenóides, vibrações pieoelétricas ou de micromotores, ou então eletricidade com frequência, intensidade de tensão ou corrente, forma de onda, etc.

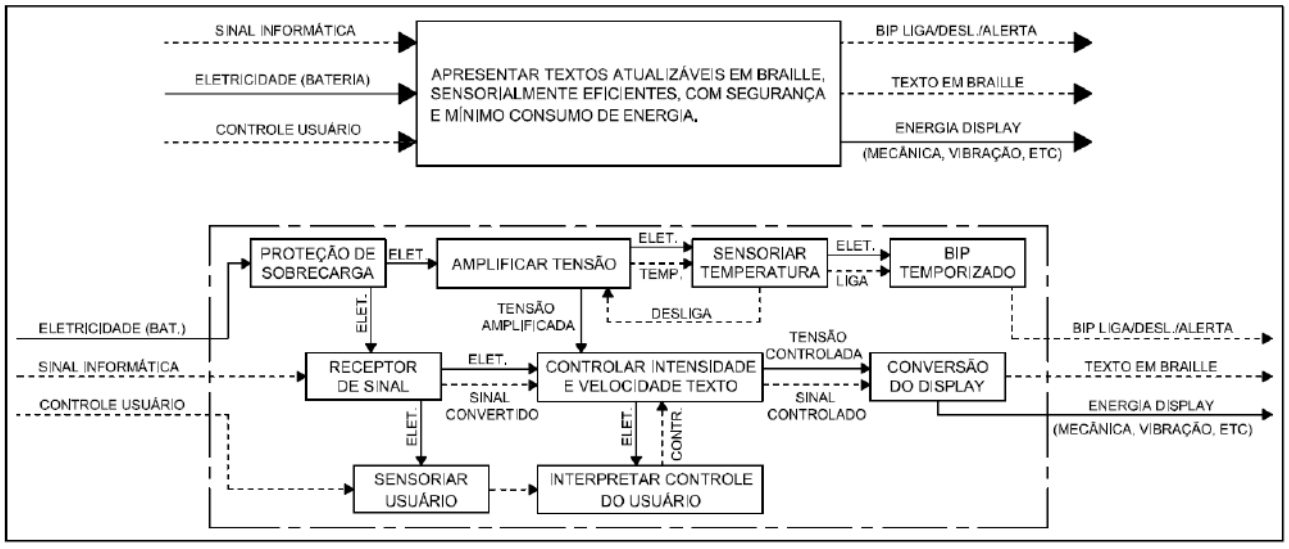



Figura 2. Função Global do Produto e Subfunções

## 2.3 Variantes de solução

Através das subfunções criou-se a matriz morfológica de solução, onde foram encontradas soluções para cada subfunção requerida em atendimento à função global. A primeira coluna de soluções apresenta tecnologias convencionais, o que proporciona efeito comparativo com soluções alternativas, capazes de conduzirem à inovações, por isso as outras duas colunas apresentam soluções técnicas mais atuais e sempre comercialmente acessíveis, para facilitar a produção reduzindo custos, apresentando tamanho reduzido e menor consumo energético. Três variantes de soluções, grafadas como caminhos coloridos dentre as colunas, foram determinadas para o atendimento simultâneo às subfunções e aos requisitos do produto. Lembrando que a possibilidade de outras variantes é sempre possível, mas nesse caso não trariam contribuições significativas. A matriz morfológica pode ser vista na Figura 3.

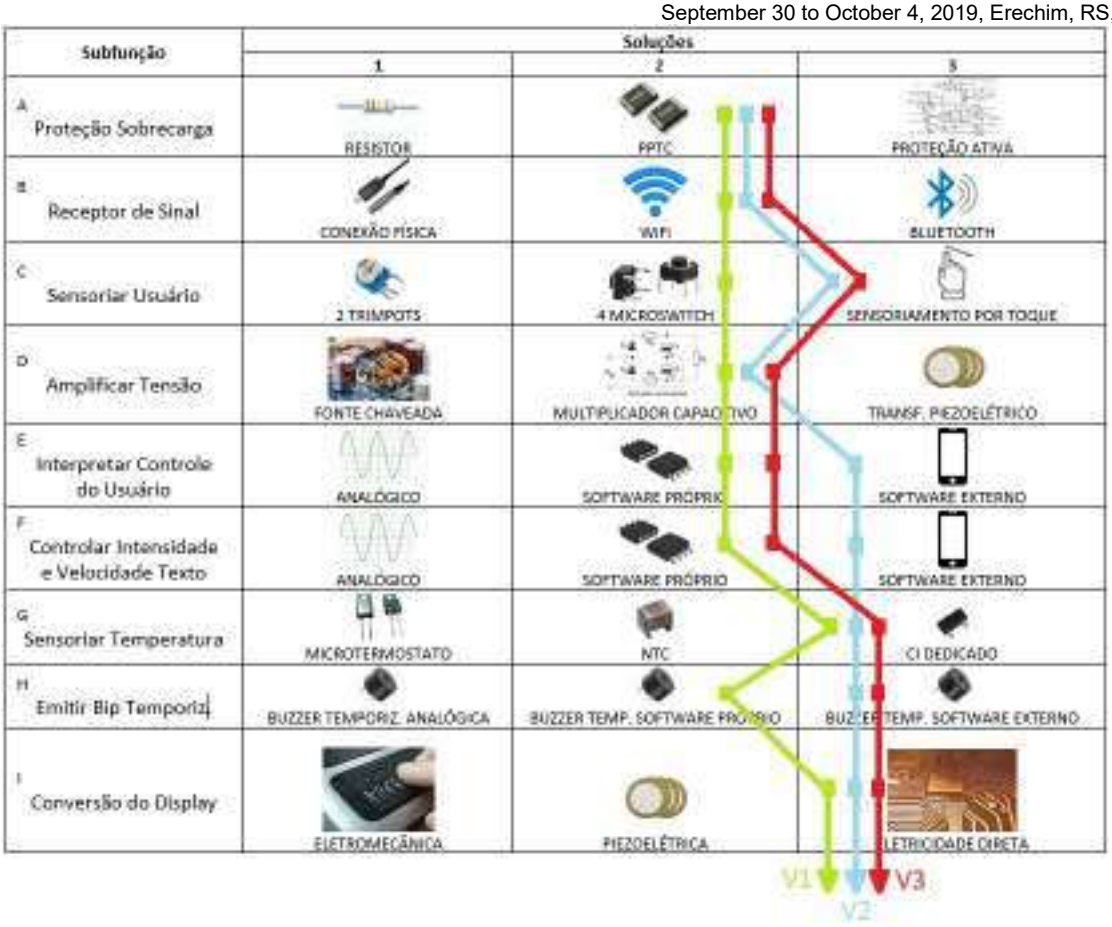



Figura 3. Matriz morfológica das subfunções

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliando as possibilidades de soluções para cada uma das subfunções, tendo como foco o atendimento da lista de requisitos, a facilidade de produção, o custo, a segurança, a minimização do volume, peso e consumo energético e a eficiência, obteve-se três variantes, denominadas V1, V2 e V3, cujas combinações formadoras das mesmas são compatíveis entre si. A primeira coluna da matriz de soluções conduz a tecnologias convencionais, que exigem o uso de componentes de maior volume e/ou consumo energético, apesar de serem as tecnologias utilizadas atualmente. Enquanto que a segunda e terceira colunas apresentam componentes menos volumosos e com baixo consumo de energia, tendendo para os diminutos componentes de tecnologia SMD, cujo custo é inferior aos componentes eletrônicos convencionais e proporcionam facilidade de produção em larga escala com o uso de montagem automatizada.

A variantes apresentam convergências em soluções como a primeira (A2), onde um único componente é capaz de ser eficiente resolvendo o problema com simplicidade e baixo custo, ou então na segunda solução (B2) convergem porque a comunicação pelo sistema WiFi é consagrada como funcional, factível e acessível à todos os equipamentos de informática desejados. Os multiplicadores capacitivos de tensão (D2), apesar de serem uma solução antiga, foi o preferido por apresentar quantidade de energia conhecida e, portanto limitada, nunca ultrapassando parâmetros de tensão de pico para cargas resistivas, como é o caso, bem como serem fáceis de montar. Enquanto o sensoriamento de temperatura através de chip dedicado (G3) é acessível, eficiente e factível.

A última linha da matriz de soluções aponta três soluções, onde a primeira é a clássica linha braille eletromecânica, cujo volume, peso e consumo energético, além da exclusividade produtiva das suas peças, inviabilizam o atendimento à lista de requisitos. No caso da segunda solução, novamente exige componentes exclusivos, pois seria necessário produzir células piezoelétricas de tamanho reduzido e com frequência adequada ao tato humano que não produza sons audíveis, gerando dificuldades técnicas e custo. Já a última solução é inédita, porém factível devido ao fato da corrente elétrica ser facilmente percebida pelo tato, além de proporcionar facilidade de execução com custo mínimo.

O Quadro 2, avalia as três variantes propostas e determina uma para o prosseguimento do desenvolvimento deste produto.

Quadro 2. Lista de seleção das variantes de solução

| **Lista de Seleção das Variantes de Solução** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Projeto: Desenvolvimento do Conceito de *Display Braille* de Baixo Custo | | | | | | |
| LV | Avaliar alternativas de solução de acordo com os critérios de solução<br>Simbologia: (+) Sim / (–) Não / (?) Escassez de informações | | | | | **Decisão**<br>Simbologia:<br>(+) Prosseguir com a solução<br>(–) Descartar solução<br>(?) Buscar informações |
| | **Atente à lista de requisitos?** | | | | | |
| | 1 | **Maior eficácia do que as aplicações semelhantes?** | | | | |
| | | 2 | **Tem funcionalidade?** | | | |
| | | | 3 | **Realizáveis a princípio?** | | |
| | | | | 4 | **Observações / Justificativas / Impacto** | |
| V1 | + | – | – | + | Utilizar botões de ajuste atrapalha o andamento da leitura | – |
| V2 | + | – | + | – | Software externo exige alta velocidade de comunicação e volume de programação | – |
| V3 | + | + | + | + | **Atende os requisitos e objetivos do projeto** | + |

## 4. CONCEITO

Considerando a facilitação do acesso financeiro do dispositivo ao usuário final, a nível de engenharia o projetista naturalmente procura a solução mais simplificada possível, a fim de minimizar os custos envolvidos na produção do aparelho. Dessa forma, utilizando um raciocínio básico, a tentativa é desconstruir um dispositivo hipotético pré-existente. Por exemplo, uma linha braile produzida atualmente é a eletromecânica, então parte-se deste dispositivo, porém retirando as partes que não forem extremamente necessárias, como a sua carenagem, a própria linha eletromecânica, cujas partes móveis ocupam espaço e necessitam maior energia, retirando também a sua bateria e provavelmente restará somente a placa eletrônica, essa última extremamente necessária. Logo, se terá um dispositivo consideravelmente menor, cuja fonte de energia deveria ser provida externamente. Mas de imediato surgiria a pergunta: como sensibilizar a digital do usuário sem a linha eletromecânica? A resposta já foi dada pelas três variantes de solução, especialmente pela variante eleita (V3), onde utilizar-se-ia eletricidade direta para essa sensibilização.

A Figura 4 mostra o conceito proposto para o dispositivo, ficando claro que o custo seria mínimo, pois trata-se apenas de uma placa de circuito impresso tipo duplo *layer* (duas faces condutivas), onde a face frontal apresenta eletrodos constituídos pelo próprio filme cobreado de um dos *layers*, utilizando a própria pintura da máscara como isolante, enquanto que do outro lado ficam os componentes eletrônicos de tecnologia SMD, cujo volume, peso e consumo energético seriam o mínimo possível, além de proporcionarem fabricação automatizada em larga escala.

É importante ressaltar que qualquer que fosse a solução para um display braile, seria igualmente necessária uma placa de circuito impresso de qualquer forma para que o dispositivo funcionasse, então isso evidencia a minimização do custo obtido com esse conceito.

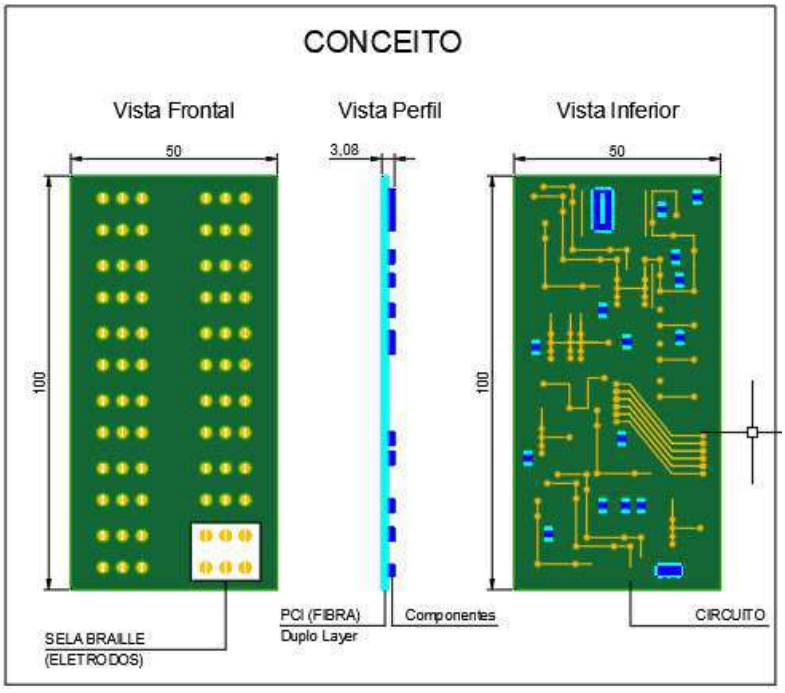



Figura 4. Conceito do Dispositivo

## 5. CONCLUSÕES

O uso de uma metodologia para a realização da concepção do produto, objetivou a criação de um conceito que embasasse solidamente a continuidade do desenvolvimento do produto, controlando todas as fases do projeto, registrando o que deve ser entregue em conformidade com os requisitos exigidos e desejados, e ampliando essas vantagens pela geração de um histórico das informações para projetos posteriores.

Conclui-se assim que a utilização de metodologias de planejamento e desenvolvimento de produtos apresentam diversas vantagens, e nesse artigo, auxiliou na criação de informações para o desenvolvimento do projeto preliminar e do detalhamento do display braile de baixo custo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bersch, R., *Introdução à Tecnologia Assistida*. Porto Alegre: Centro Especializado em desenvolvimento Infantil, 2017.

Pahl, Gerhard., Beitz, Wolfgang., Feldhusem, jörg. e Grote, Karl H. *Projeto na Engenharia*. 6ª ed. Editora Blucher, São Paulo, 2005.

Sá, Elizabet Dias de, *et al*., *Formação Continuada a Distância de Professores para o Atendimento Educacional Especializado: Deficiência Visual*. Brasília: MEC, 2007.

Santos, Vivian, *et al*., *Meios de Acesso à literatura para Pessoas com Cegueira: Braille ou Áudiolivro?* Santa Maria: Revista Educação Especial, 2016.

## 7. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI

# Engenharia Mecânica:

# Projetos e Estruturas

REALIZAÇÃO:

URI
ERECHIM

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# *ANÁLISE NUMÉRICA DE UM ENGATE PARA REBOQUE SUBMETIDO A CARREGAMENTO ESTÁTICO*

*Eduardo Schaefer*
*Fábio Goedel*
*Márcio Walber*

*Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900*
*117913@upf.br; mwalber@upf.br; goedel@upf.br*

***Resumo:*** *O Brasil vem sofrendo um crescimento cada vez maior do mercado automobilístico. A cada ano são lançados diversos novos modelos de veículos, e com isso vem também o crescente número de componentes e acessórios para a utilização nos mesmos. Um desses componentes é o engate para reboque, que na mesma proporção que os veículos, teve sua venda elevada nos últimos tempos. De acordo com a resolução nº 197 do CONTRAN, os engates precisam ser submetidos à ensaio de resistência em laboratório credenciado de acordo com a norma NBR ISO 3853 para conseguir sua homologação. Com isso o presente trabalho busca avaliar a resistência de um engate para reboque utilizando simulação virtual através do Método dos Elementos Finitos, e assim verificar seu dimensionamento facilitando sua aprovação quanto aos critérios de norma. Foi realizada uma análise estrutural de um modelo de engate, através de uma análise linear estática, aplicando todas as condições de contorno representando parcialmente de forma virtual a mesma análise realizada em laboratório, e o modelo de engate apresentou tensões abaixo da tensão de escoamento do material em todos os carregamentos.*

***Palavras chave:*** *Método dos Elementos Finitos; Análise de Resistência.*

## 1. INTRODUÇÃO

O engate para reboque pertence à uma classe importante na área de acessórios automotivos, isso se dá pelo fato que o engate nada mais é que um pequeno sistema estrutural, fixado nos chassis dos veículos que tem por finalidade tracionar reboques dos mais variados tipos e pesos. De acordo com Beer et al. (2012), as estruturas nunca são absolutamente rígidas e se deformam pela ação das cargas que estão submetidas, estas deformações geralmente são pequenas e não afetam as condições de equilíbrio ou movimento da estrutura. Durante o transporte de um reboque o engate recebe diversos tipos de carregamentos, que variam muito de acordo com a qualidade de construção do reboque, isto é, se ela foi projetada de forma que seu centro de gravidade deixe ela perfeitamente equilibrada, assim evitando forças excessivas no engate. Outro ponto que influencia nos carregamentos absorvidos pelo engate são as oscilações do terreno em que está rodando com o veículo, pois terrenos mais irregulares tendem a aplicar mais cargas de forma cíclica no engate e também vibrações. Segundo Vendrame (2005), vibrações são movimentos executados em torno de um ponto fixo pelo corpo, que podem ser regulares ou irregulares que seguem movimentos indeterminados com as vibrações que um carro sofre em uma estrada de terra. Com tudo isso mostra-se a importância de um correto dimensionamento dos engates para reboque, e a partir disso, o Conselho Nacional de Trânsito através da resolução 197/06 passou a regulamentar a fabricação dos engates para reboques para veículos com PBT até 3500 kg. Assim todas as empresas fabricantes de engates para reboque precisam atender uma série de requisitos necessários para que o engate fabricado pelas mesmas atenda um padrão de qualidade. Um dos requisitos é a comprovação de resistência mecânica através de ensaios em laboratórios credenciados. Segundo o CONTRAN, a aprovação do produto fica condicionada ao cumprimento de requisitos estabelecidos em regulamento do INMETRO, que deverá prever, no mínimo, a apresentação pela empresa fabricante de engate, de relatório de ensaio, realizado em um protótipo de cada modelo de dispositivo de acoplamento mecânico, proveniente de laboratório independente, comprobatório de atendimento dos requisitos estabelecidos na Norma NBR ISO 3853, NBR ISO 1103, NBR ISO 9187. A ideia principal do presente trabalho é através do Método dos Elementos Finitos (MEF) criar um modelo numérico de um engate para reboque, aplicando todas as condições de contorno que possam representar parcialmente o ensaio exigido pelo CONTRAN, assim será avaliado pontos de tensão do engate Este trabalho vai se limitar à aplicação de cargas estáticas no modelo, utilizando as normas vigentes para os valores de carregamento, diferente de como exige a norma, que pede um ensaio de fadiga.

Porém com os valores de carga estática será possível fazer a validação do modelo numérico, para posteriormente desenvolver as análises de fadiga.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão abordados os itens da fundamentação teórica para o desenvolvimento do trabalho. Os tópicos abordados são: Engate para reboque e uma breve introdução sobre método dos elementos finitos.

### 2.1 Engate para reboque

Segundo Pontalti (2005), o engate utilizado em veículos comerciais, é um dispositivo de acoplamento aplicado entre um veículo trator e um reboque. De acordo com a NBR ISO 3853 (1998), engate é um dispositivo de acoplamento mecânico que é fixado no veículo de tração, utilizado para tracionar *trailers* e reboques leves. Os engates para reboque possuem diferentes capacidades de cargas, que são definidas através da informação dos fabricantes de veículos. De acordo com o item 6.2 na NBR ISO 3853 (1998), os fabricantes de veículos devem fornecer as informações necessárias ao fabricante do engate referente a capacidade de carga do veículo e pontos de fixação disponíveis para instalação do engate. A figura 1 apresenta um modelo de engate para reboque.



Figura 1 - Modelo de engate para reboque

### 2.2 Método dos elementos finitos (MEF)

Soriano (2009) afirma que o MEF é uma poderosa ferramenta de análise para praticamente qualquer tipo de aplicação na engenharia estrutural. O MEF consiste em simular o comportamento de uma estrutura real utilizando um modelo computacional dividindo a estrutura em vários elementos, utilizando um sistema de equações algébricas, permitindo descrever o comportamento da estrutura. De acordo com Alves Filho, A. (2013), essa divisão da estrutura em partes menores é chamada de discretização do contínuo, cada uma dessas partes é chamada de elemento finito, e cada elemento possui um número de nós e graus de liberdade, que dependem de sua forma geométrica e formulação. A montagem de todos esses elementos, que representam a estrutura, e chamada de malha de elementos finitos. Segundo Alves Filho, A. (2013), a mente humana sempre busca subdividir os sistemas em seus componentes individuais, ou em seus elementos. Assim, a partir do entendimento de cada elemento é possível entender o comportamento do conjunto como um todo. A figura 2 apresenta de forma bem clara como é uma malha de elementos finitos, seus elementos e seus nós. Onde: 1 representa malha, 2 representa seus elementos e 3 os pontos vermelhos indicam seus nós.

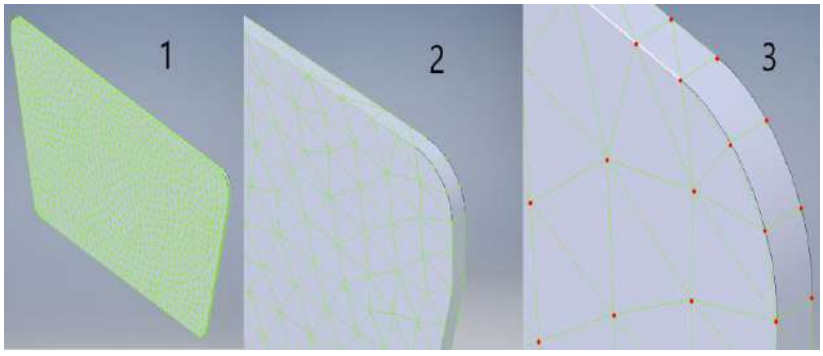



Figura 2 - Malha de elementos finitos

### 2.2 Etapas de Pré-Processamento, Processamento e Pós-Processamento

Segundo Soriano (2009) na etapa de pré-processamento é onde o maior esforço é executado pelo analista, pois é onde ele deve fornecer os dados de entrada para o *software* de elementos finitos. Geração de malha, aplicação de restrições e cargas, tipo de análise, são informações que devem ser fornecidas. Ainda Soriano (2009), a parte de processamento é a etapa que com base nos dados de entrada fornecido pelo analista no pré-processamento, o *software* irá executar o trabalho. De acordo com Soriano (2009) a etapa do pós-processamento é onde o analista deve solicitar os dados de saída que pretende avaliar, levando em conta os objetivos definidos no início da análise, verificando critérios de falha, limites de deslocabilidade, avaliando tensões e deslocamentos, ou seja, interpretando os resultados.

### 2.3 Tipos de elementos: Barras, cascas e vigas

Na discretização do modelo, é necessário definir o tipo de elementos de cada peça do conjunto modelado. Segundo Alves Filho, A. (2008) os elementos de barra são unidimensionais que transmitem apenas força de compressão ou tração. Possui dois nós com três graus de liberdade em cada nó. São utilizados em modelos onde o comprimento é muito maior que sua seção transversal, a figura 3(a) mostra um elemento de barra. Alves Filho, A. (2008) afirma que elementos de viga são elementos uniaxiais e tridimensionais que transmitem forças axiais, momentos fletores, forças cortantes e momentos torsores, possui dois nós com seis graus de liberdade em cada nós. É comumente utilizado em vigas contínuas e pórticos, a figura 3(b) mostra um elemento de viga. Ainda Alves Filho, A. (2008), diz que, elementos de casca são elementos formados por quatro nós com seis graus de liberdade em cada nó. Seu uso é adequado para usar em plano médio de chapas onde a análise é feita em estruturas com espessuras finas e moderadamente grossas. A figura 3(c) mostra um elemento de casca, onde seus graus de liberdade são representados no nó 1, mas nos nós 2, 3 e 4 possuem os mesmos graus de liberdade.

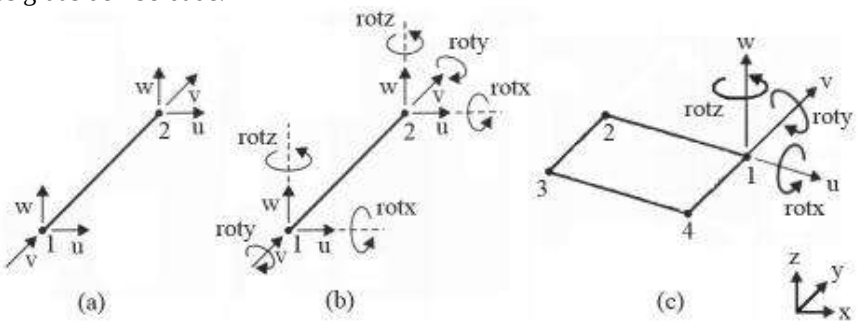



Figura 3 - Tipos de elementos: barra, viga e casca

### 2.4 Tipos de elementos: Sólidos

Segundo Alves Filho, A. (2008), o elemento sólido possui três dimensões que possuem a mesma ordem de grandeza, onde nenhuma dimensão pode ser idealizada. As estruturas e componentes são representados usando elementos volumétricos. Estes elementos podem ser regulares ou parabólicos como mostra a Figura 4.

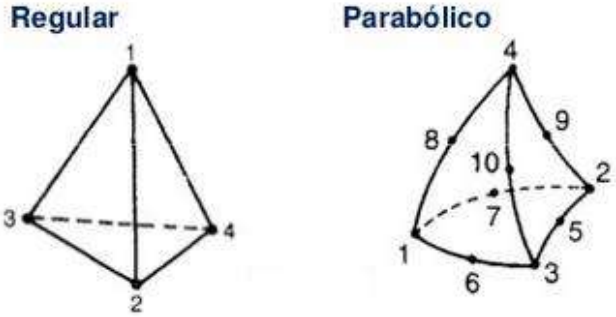



Figura 4 - Elementos sólidos regular e parabólico

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa etapa do trabalho apresenta-se o desenvolvimento metodológico do trabalho, para que assim possam ser cumpridos todos os objetivos propostos.

### 3.1 Descrição do objeto de estudo

O objeto de estudo do presente trabalho é um engate para reboque utilizado nos veículos Volkswagen Kombi. Sua estrutura é composta basicamente por quatro elementos: perfil U, barra tubular central, asas de reforço e suas chapas de fixação lateral. A união da estrutura é toda feita a partir de processo de soldagem. A Figura 5 mostra o engate para reboque que será objeto de estudo no presente trabalho, com suas respectivas partes indicadas.

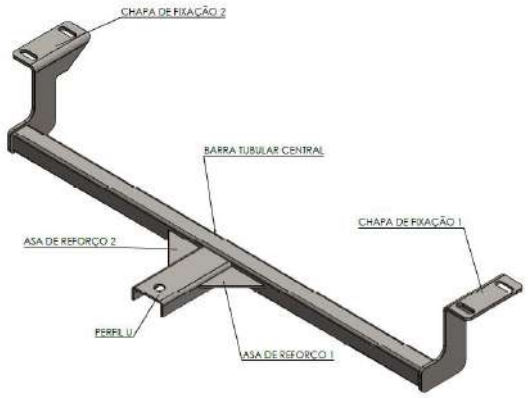



Figura 5 - Modelo de estudo

O perfil U é fabricado a partir de chapa metálica ASTM A36, possui dimensões de 75 mm de largura, suas abas possuem 30 mm de altura e a espessura é de 4,75 mm. É cortada a partir de matriz que efetua seu cisalhamento, e feito uma furação de diâmetro 20 mm para encaixe da esfera de acoplamento e seu comprimento é de 170 mm. A barra tubular central é feita de tubo quadrado mecânico com costura ASTM A36, com dimensões de 40 mm de lado e 3 mm de espessura. É cortado a partir de matriz, que efetua seu cisalhamento e seu comprimento é de 1000 mm. As chapas de fixação lateral são fabricadas a partir de chapa metálica ASTM A36 de espessura 6,35 mm, onde seu formato e furação são feitos a partir de corte plasma, e após isso é feito uma dobra de forma espelhada tornando-a uma espécie de cantoneira. As asas de reforço são fabricadas a partir de chapa metálica ASTM A36, são cortadas a partir de uma guilhotina em forma de um quadrado 80 x 80 mm e depois recortadas a fim de formar um triângulo retângulo de catetos de 80mm. Outras informações importantes sobre o modelo de engate para reboque estudado são suas dimensões, formas de fixação no veículo e capacidades de carga, que são informações fundamentais para as condições de contorno do modelo MEF mais adiante. O engate é fixado no veículo através de suas chapas de fixação, que a partir de suas furações, coincidem com as furações da longarina do veículo. Essa fixação é feita através de parafusos que são roscados diretamente em furos com rosca na longarina, tornando assim uma união rígida entro engate e o veículo. A figura 6 mostra o modelo de engate para reboque estudado com suas principais dimensões.

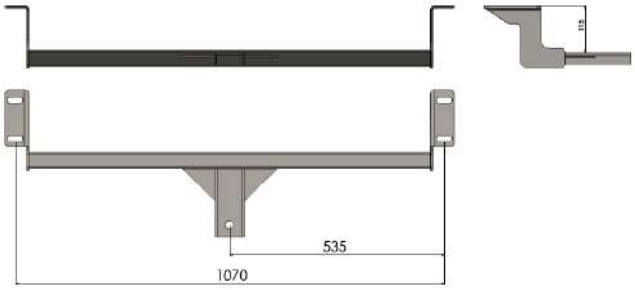



Figura 6 - Principais dimensões do modelo estudado

### 3.2 Definição da força aplicada no ensaio

Para definição da carga de ensaio são necessárias algumas informações, tais como a massa total do veículo automotor onde o engate para reboque é aplicado, e também a massa total do reboque que vai ser tracionado. Segundo o fabricante de engate para reboque, o modelo utilizado no trabalho aplica-se em todos os modelos de Volkswagen Kombi, e de acordo com manual do fabricante do veículo, uma Kombi tem uma massa de 1297 kg. A massa total do reboque é de 400 kg, isso inclui a massa de sua estrutura somada a massa de carga admissível que ele pode carregar, esse valor é o máximo permitido para projeto de engates para reboques nos veículos Kombi segundo manual do veículo. A partir dessas informações podemos iniciar o processo de cálculo para carga de ensaio, com isso usaremos uma

equação da norma NBR ISO 3853, que mostra como se encontra o valor da força longitudinal (D) entre o veículo automotor, nesse caso a Kombi, e o modelo de engate para reboque objeto de estudo do presente trabalho. A Equação (1) representa essa força:

$$D = g * \left(\frac{mM * mR}{mM + mR}\right) \quad (1)$$

Onde:

$D$ = é o valor da força longitudinal entre o veículo de tração e o reboque

$mM$ = é a massa total máxima de projeto do veículo de tração, expressa em kg.

$mR$ = massa total máxima fornecida pelo fabricante de reboque para operação

$g$ = é a aceleração da gravidade, isto é, valor convencional de 9,80665 $\frac{m}{s^2}$

Analisando a Equação (1), mM é a massa do veículo Kombi que é de 1297 kg, e mR a massa total do reboque que é de 400 kg, substituindo esses valores na Equação (1) fica:

$$D = 9{,}80665 * \left(\frac{1297 * 400}{1297 + 400}\right)$$

$$D = 2998{,}04\ N \cong 3000\ N$$

Para a aplicação da carga D, o engate para reboque precisa estar com sua esfera de acoplamento parafusada no mesmo, assim, a partir da figura 7, com o engate em uma vista lateral podemos observar o sentido de aplicação da força D.

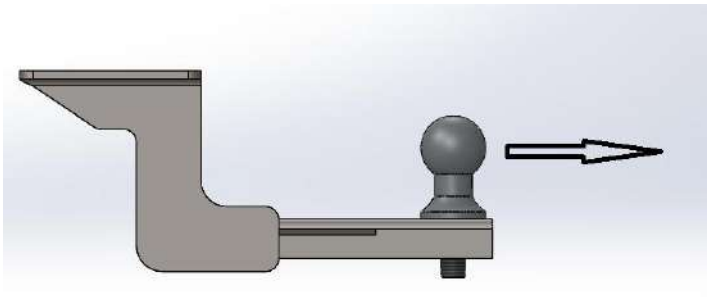


Figura 7 - Sentido de aplicação da força

### 3.3 Modelagem e simulação do engate para reboque

Nesta etapa inicia-se a construção do modelo CAD e CAE do engate para reboque, bem como definir suas condições de contorno, tais como carregamentos, material, contatos, tipos de elementos e malha.

### 3.4 Construção do modelo CAD e CAE do engate para reboque

A modelagem do modelo CAD do engate será feita através do software Solidworks. Após o modelamento será utilizado o software SpaceClaim Direct Modeler para a importação do modelo CAD, nele serão feitos todos os ajustes e correções necessárias, para assim, com o próprio software SpaceClaim Direct Modeler criar o modelo CAE e executar as simulações através do MEF.

### 3.5 Carregamentos

Os carregamentos utilizados serão feitos a partir da Equação (1) do valor D do item 3.2, sendo o carregamento aplicado em cinco etapas. A primeira carga será a de 3000 N, que é a carga calculada inicialmente conforme a norma, e após serão aplicadas as cargas de 3500 N, 4000N, 4500 N e 5000 N, para entender qual será o comportamento do engate utilizando cargas maiores que a calculada pela norma.

### 3.6 Restrições

Para a execução da análise é necessário que alguns pontos do engate sejam fixados. Para isso utilizaremos o mesmo conceito de fixação que o engate tem com o veículo, e assim usar uma restrição fixa na face superior das duas chapas de fixação. A figura 8 mostra as faces que serão fixadas no engate, e a figura 8 mostra de maneira mais aproximada.

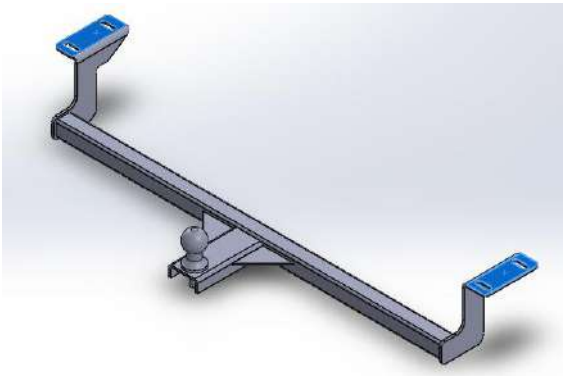


Figura 8 - Restrições

### 3.7 Contato entre componentes

Como o engate para reboque é um conjunto que tem todos os seus componentes unidos através de soldagem, por isso as peças serão unidas através da própria malha através dos nós.

### 3.8 Material

De acordo com a empresa fabricante do engate para reboque, todos os materiais utilizados na fabricação do engate estudado é o ASTM A36, assim utilizaremos suas propriedades para análise no MEF. O Quadro 1 apresenta as principais propriedades do aço ASTM A36.

| Material | Módulo de elasticidade E (MPa) | Coeficiente de Poisson ν | Tensão de escoamento Fy (MPa) | Tensão de escoamento de cálculo Fyd (MPa) | Tensão de ruptura Fu (MPa) | Tensão de ruptura de cálculo Fud (MPa) | Massa específica (kg/m^3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ASTM A36** | **200000** | **0,3** | **250** | **250** | **400** | **296,3** | **7850** |

Quadro 1 - Material ASTM A36

### 3.9 Critérios de projeto na análise MEF

Alguns critérios precisam ser atendidos pelo projeto, tais como: em todas as aplicações de carga o engate para reboque não pode falhar por escoamento; o local para medição das tensões na parte experimental será a parte traseira do elemento tubular central em seu centro em uma região de mais ou menos um diâmetro de 10 mm. A figura 9 indica com o círculo azul, a região para medição das tensões.

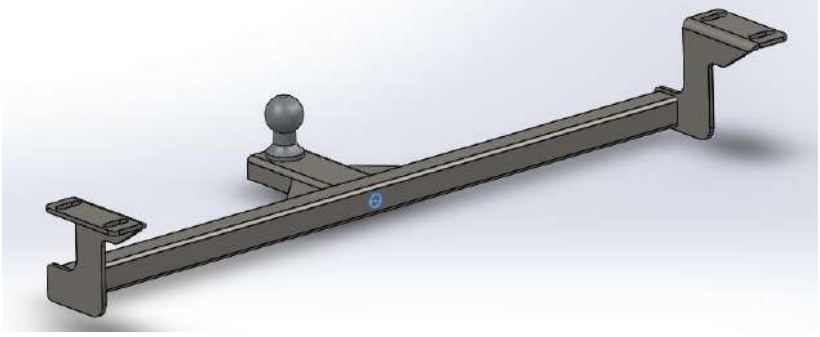


Figura 9 - Ponto de medição de tensões

### 3.10 Elemento finito utilizado na análise MEF e geração da malha

O elemento finito utilizado é o elemento de casca quadrático bidimensional, ele foi utilizado em todas os componentes do modelo. Este elemento possui oito nós, com seis graus de liberdades em cada nó: translação nos eixos x, y e z e rotações em torno dos eixos x, y e z, totalizando 48 graus de liberdade. Foi utilizado um tamanho de elemento de 2,5 mm, e após a geração da malha, obteve-se um total de 41824 elementos e 125935 nós. A figura 10 mostra a geometria, os locais dos nós e o sistema de coordenada do elemento.

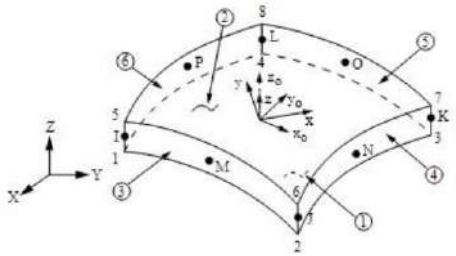



Figura 10 - Elemento de casca

### 3.11 Análise estática utilizando MEF

Após todas as condições de contorno atendidas, é rodada a análise no *software*. A etapa de processamento é feita pelo próprio software, é onde o programa realiza todos os cálculos necessários para a resolução do problema. Após isso vem a parte do pós - processamento, onde são verificadas as tensões equivalentes de von Mises no ponto indicado pelo estudo.

## 4. RESULTADOS

Após a construção do modelo CAD, e também a análise no *software* de MEF, serão analisados e discutidos os resultados obtidos nessa primeira parte do estudo.

### 4.1 Modelo CAD

O engate para reboque é representado através das superfícies médias das chapas no *software* de elementos finitos, para posterior geração da malha de elementos finitos usando o elemento de casca em todos seus componentes, sendo que as espessuras foram inseridas na formulação do elemento. A figura 11 mostra o modelo CAD, com seus elementos representados por superfícies médias.

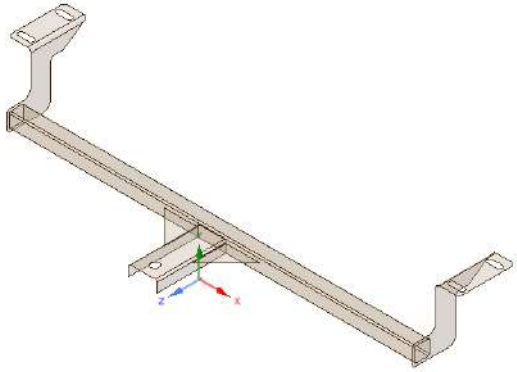


Figura 11 - Modelo de superfície média

### 4.2 Modelo em Elementos Finitos

No *software* de elementos finitos a malha foi gerada com elementos de casca, nas chapas de fixação foi utilizado uma espessura de 6,35 mm, no elemento tubular central foi utilizado uma espessura de 3 mm e por fim no perfil U foi utilizado uma espessura de 4,75 mm. A malha possui um total de 41824 elementos e 125935 nós com tamanho de elemento de 2,5 mm.

### 4.3 Análise Estática

Após a aplicação das cargas foi analisado as tensões no ponto de interesse representado pelo item 3.2. A tabela 2 apresenta os valores de tensão obtidos no ponto atribuído em cada carga aplicada.

| Carga aplicada (N) | Tensão Equivalente de von Mises (MPa) |
|---|---|
| 3000 | 75,021 |
| 3500 | 88 |
| 4000 | 100 |
| 4500 | 113 |
| 5000 | 125 |

Quadro 2 - Valores de tensão no ponto indicado

Utilizando o mapeamento do *software*, é possível fazer a leitura das tensões no ponto de interesse do estudo. A Figura 12 apresenta o engate simulado com 3000 N, e sua respectiva tensão de 75,021 MPa.

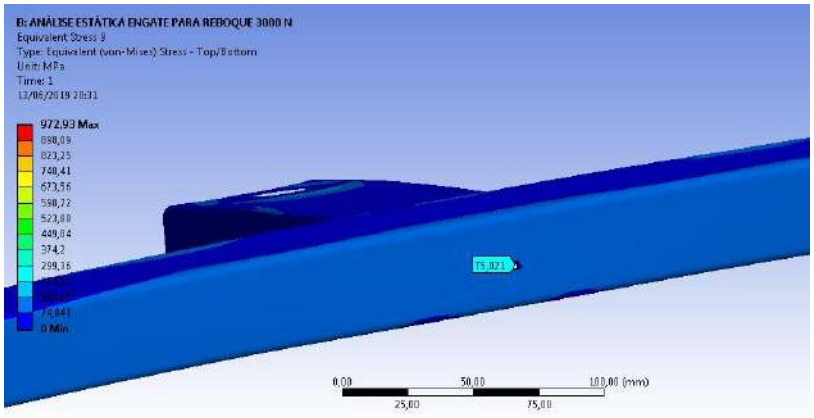



Figura 12 - Tensão para carga de 3000 N

As tensões no ponto especificado não ultrapassaram os 250 MPa, atingindo assim um coeficiente de segurança de 3,3.

Outro ponto importante que foi analisado foram os deslocamentos resultantes máximos que o engate apresentou, os pontos de maior deslocamento foram todos no mesmo local, apresentando resultados de forma linear de acordo com o aumento da carga na análise, a variação foi de 0,5 mm com o aumento de 500 N de carga em cada ensaio. O quadro 3 apresenta os valores de deslocamentos obtidos no ponto atribuído em cada carga aplicada.

| Carga aplicada (N) | Deslocamento (mm) |
|---|---|
| 3000 | 3,0235 |
| 3500 | 3,5287 |
| 4000 | 4,0323 |
| 4500 | 4,5363 |
| 5000 | 5,0392 |

Quadro 3 - Valores de deslocamento em função da carga aplicada

A figura 13 apresenta o engate simulado com 3000 N, e seu respectivo deslocamento de 3,0235 mm.

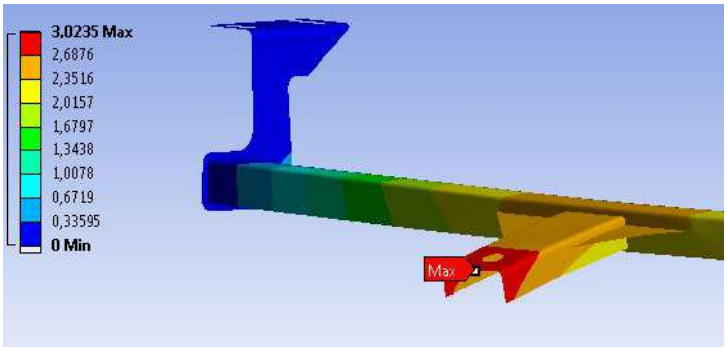



Figura 13 - Deslocamento máximo

## 5. CONCLUSÃO

O estudo sobre análise estrutural foi de grande importância para o presente trabalho, pois através dele foi possível conhecer de forma minuciosa tudo que pode ocorrer ao analisar o projeto de um componente mecânico. São conhecimentos essenciais antes de iniciar as aplicações no *software*, e que influenciam diretamente nas condições de contorno da análise com MEF, evitando assim, problemas indesejados no futuro. A etapa de modelagem do engate para reboque necessita bastante atenção do analista, o modelo em CAD precisa ser construído de forma bem elaborada para que quando for feita a sua importação para o *software* de elementos finitos, não apresente problemas de construção e resultados insatisfatórios. Através da análise estática utilizando o MEF, foi possível conhecer numericamente os pontos de tensão que um engate sofre ao receber uma aplicação de carga. As tensões encontradas apresentaram comportamento linear, e nenhuma delas ultrapassou a tensão de escoamento do material, atingindo um coeficiente de segurança de 3,3. Como ideia para trabalhos futuros, é a utilização desses mesmos dados para realização de uma análise de fadiga e posteriormente análises experimentais para validação do modelo numérico.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

## 7. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3853: Veículos Rodoviários - Dispositivo de acoplamento mecânico do veículo de tração para reboques-moradias - (trailers) e reboques leves: Ensaio de resistência mecânica**. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1103: Veículos rodoviários - Esfera de acoplamento para reboques de moradia (trailers) e reboques leves - Dimensões**. Rio de Janeiro. 2003.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R.; CORNWELL, P. J. **Mecânica vetorial para engenheiros:** Dinâmica. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

FILHO, A. A. **Elementos Finítos:** a base da tecnologia CAE / análise dinâmica. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

FILHO, A. A. **Elementos Finítos / A Base da Tecnologia CAE**. 6. ed. São paulo: Érica, 2013.

PONTALTI, A. **Análise de fadiga e estimativa de vida do garfo de engate automático para veículos tratores e reboques**. Universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 95. 2005.

SORIANO, H. L. **Elementos Finítos - Formulação e Aplicação na Estática e Dinâmica das Estruturas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna LTDA, 2009.

VENDRAME, A. C. **Gestão de risco ocupacional**. São Paulo: Thomson, 2005.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DE UM SISTEMA PARA TRANSPORTE DE CAIXA DE AVES VIVAS

**Fabiano Betineli Tremarin**
**Dirceu Jesus Lima da Silva**
**Márcio Walber**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo - RS, 99052-900
151967@upf.br; dirceujls@upf.br; mwalber@upf.br

***Resumo:*** *A área avícola é um ramo do setor agropecuário que vem em crescente desenvolvimento tecnológico, embora ainda existam muitos processos que são realizados manualmente, como o carregamento das aves no veículo de transporte. A fim de automatizar uma etapa desse processo deseja-se desenvolver um sistema para transporte de caixas que abrigam as aves no carregamento e deslocamento dentro do núcleo de criação até o veículo de transporte. Para eliminar esse processo manual deseja-se projetar um sistema rolante com esteira automatizada para aumentar a rapidez do processo, mobilizar a movimentação das caixas, diminuir o esforço braçal e evitar eventuais acidentes. O presente trabalho através de uma metodologia de projeto visa demonstrar o desenvolvimento e explicar o funcionamento de um sistema de movimentação de caixas de aves vivas buscando a melhor combinação dos fatores que devem ser atendidos.*

***Palavras chave:*** *Área avícola, movimentação, esteira, automatização.*

## 1. INTRODUÇÃO

A criação de aves para consumo no Brasil deu-se início em meados do século XV, mas somente em 1930 foi vista como atividade com fins lucrativos. No Brasil essa pratica agrícola em grande parte é de maneira tradicional e familiar, o que facilita a fixação do homem no campo e uma boa renda com pequena área de terra e em terras com pouca fertilidade. De acordo com esses benefícios nos últimos anos o avicultor vem buscando soluções para facilitar o seu trabalho no sistema aviário, como por exemplo, o surgimento de núcleos totalmente automatizados e climatizados.

No processo de carregamento deseja-se que os caminhões adentrem ao aviário para execução do carregamento, mas devido a existirem instalações mal projetadas e instalações antigas essa possibilidade torna-se inviável. No carregamento segundo Rui, Angrimani e Silva (2011) as caixas devem ser transportadas até o caminhão em um sistema utilizando canos do tipo PVC distribuídos no chão com uma determinada distância de espaçamento, para facilitar o deslizamento das caixas, e um sistema de esteira para o levantamento das caixas até a carroceria do caminhão.

Este ato necessita de um determinado número de pessoas para ser realizado, o que propicia à exposição dos encarregados a um alto risco de lesões físicas e à necessidade de esforço físico. Com tais condições desfavoráveis ao empregado destinado, deseja-se estudar e criar uma maneira de automatizar este processo, tornando-o mais seguro, rápido, diminuindo ao máximo os esforços realizados pelos operadores bem como o risco de haver algum desconforto às aves que estão sendo deslocadas.

Neste trabalho será apresentado um estudo para desenvolver um sistema de esteira para deslocamento das caixas substituindo o método tradicional, tornando o processo mais eficaz, favorável ao criador e aos envolvidos no processo de carregamento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os passos de desenvolvimento para o sistema de transporte de caixas de aves vivas, levando em conta a metodologia propostas por Pahl et al (2005), que definem o desenvolvimento do projeto de um produto é composto por quatro fases principais: Esclarecimento e definição da tarefa, métodos para concepção, metodologias para anteprojeto e métodos para o detalhamento. O cumprimento destas fases com irá auxiliar para obter êxito na tentativa de desenvolver o produto.

### 2.1 Esclarecimento e definição metódica da tarefa

A fase do planejamento é utilizada para formular e esclarecer a tarefa visando o início do projeto, tomando como principal objetivo delineá-lo de maneira com que futuramente nas próximas fases não haja necessidade de haver uma reformulação.

Na realização do carregamento o tempo e a segurança das pessoas que irão executa-lo são variantes primordiais na tentativa de aperfeiçoar o processo. Primeiramente tomou - se como objetivo desenvolver o sistema para que atenda alguns requisitos mínimos tais como: redução do tempo de carregamento, diminuir o número de pessoas envolvidas no ato, tornar menor a periculosidade proporcionada aos operadores, bem como baixar o nível de estresse das aves, não ocasionando alguma possível perca de peso.

Como citado anteriormente, o processo de transporte das caixas dentro do aviário é realizado ainda de maneira um tanto quanto rudimentar, executado pelos integrantes da equipe de apanhe deslizando as caixas empilhadas por cima de tubos tipo PVC. Com base nisso, este método é considerado ultrapassado e acredita-se que o sistema desenvolvido no presente trabalho seja inovador no ramo avícola.

A lista de requisitos será realizada segundo Pahl et al. (2005) pelo método da linha mestra que demonstra as principais características relacionadas ao sistema e também aspectos indispensáveis. Essa lista demonstra os requisitos básicos que o sistema deve atender, portando aspectos quantitativos e qualitativos. Ela foi elaborada com embasamento em pesquisas de campo, exposta na Tabela 1, visando solucionar as principais dificuldades pontuais encontradas no meio de carregamento no núcleo de criação avícola.

Tabela 1. Lista de requisitos para o sistema de transporte de caixas de aves

| LINHA MESTRA | D/E | REQUISITOS |
|---|---|---|
| Geometria | E | Altura máxima de 0,6 m |
| | E | Comprimento máximo de 50 m |
| | E | Largura máxima de 1 m |
| | E | Proteção lateral para que as caixas deslizem alinhadas e não caiam da estrutura |
| Cinemática | E | Acionamento através de motor elétrico |
| | E | Velocidade mínima da corrente de 0,5 m/s |
| | D | Transportar 18 caixas simultaneamente |
| | E | Conjunte de caixas deve percorrer todo o comprimento da estrutura em 200 segundos |
| Cargas | E | Capacidade mínima de arrasto de 400 kgf |
| | D | Peso total do conjunto: < 1600 kg |
| Segurança | E | Chave de partida com protetor |
| | E | Proteção lateral da corrente |
| | E | Motor enclausurado |
| Ergonomia | E | Diminuir pela metade o número de pessoas para o deslocamento das caixas |
| Produção | E | Estrutura parafusada, soldada ou encaixada |
| | E | Custo de produção menor que R$ 30.000,00 |
| | E | Componentes fixados através de fixadores, soldas ou encaixes |
| Operação | E | No mínimo duas pessoas para colocar e retirar as caixas da estrutura |
| | E | Caixa transportada através de acessório na corrente |
| Montagem | E | Manual, através de equipamentos adequados |
| Manutenção | E | Verificar o esticamento da corrente |
| Transporte | E | Veículo adequado (caminhão) |
| Prazos | E | Entrega em 60 dias após o pedido |

## 2.2 Concepção

Após a lista de requisitos estar definida passou-se para a segunda fase da metodologia de Pahl et al. Utilizando-se da lista de requisitos e a ferramenta de abstração, proposta pelos autores, se definiu a função global que o produto deve cumprir, representando pelo fluxograma da Figura 1.

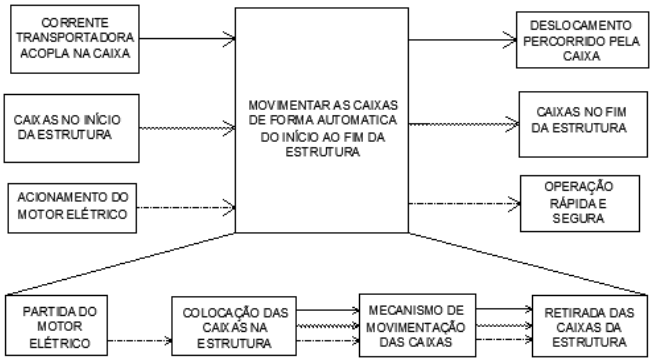



Figura 1. Estrutura de funções do projeto

### 2.3 Variantes de solução

Através das subfunções encontradas, se criou a matriz morfológica de solução, onde foram encontradas soluções para cada subfunção requerida para o atendimento da função global proposta anteriormente. A matriz morfológica pode ser vista no Quadro 1.

Quadro 1. Matriz morfológica com soluções para cada função

| | FUNÇÕES | SOLUÇÃO 1 | SOLUÇÃO 2 | SOLUÇÃO 3 |
|---|---|---|---|---|
| **1** | Partida do motor elétrico | Operador aciona a chave de ligação | Operador conecta cabo de extensão com pinos | Acionador de presença de caixas automático |
| **2** | Colocação das caixas no início da estrutura | Operador | Robô operado por controle | |
| **3** | Mecanismo de movimentação das caixas | Esteira de corrente com ganchos de acoplamento | Esteira de borracha | Esteira de roletes |
| **4** | Retirada das caixas da estrutura | Operador | Robô operado por controle | |

Com base na análise das possíveis soluções de cada subfunção, considerando o atendimento a lista de requisitos, a facilidade de produção, o custo, o nível de precisão e a facilidade de operação, chegou-se a duas variantes, denominadas V1 e V2, sendo a variante V1 composta pelas seguintes características:

- Partida do motor elétrico: operador aciona a chave de ligação;
- Colocação das caixas na estrutura: operador;
- Mecanismo de movimentação das caixas: esteira de corrente com ganchos de acoplamento;
- Retirada das caixas da estrutura: operador.

E a variante V2:

- Partida do motor elétrico: operador aciona a chave de ligação;
- Colocação das caixas na estrutura: operador;
- Mecanismo de movimentação das caixas: esteira de borracha;
- Retirada das caixas da estrutura: operador.

### 2.4 Metodologias para anteprojeto

Nesta fase, parte-se de uma estrutura de funcionamento, decidida anteriormente e constrói-se de maneira clara e completa a estrutura do produto, segundo critérios técnicos e econômicos. A melhor opção de estrutura de funcionamento foi demonstrada no item anterior como variante de solução 1.

#### 2.4.1 Definição do comprimento da estrutura

Para definição comprimento da estrutura foram levados em conta o comprimento, largura e o posicionamento das portas de carregamento do aviário modelo *dark house*, que já vem tomando conta e, num futuro próximo, irá substituir praticamente todos do modelo convencional.

Para isso, foram realizadas visitas a 6 aviários de modelo *dark house* nos municípios de Camargo/RS e Nova Alvorada/RS, sendo realizadas as medições da estrutura física dos mesmos. Os resultados das medições são representados no Tabela 2:

Tabela 2. Medidas coletadas

| | Aviário 1 | Aviário 2 | Aviário 3 | Aviário 4 | Aviário 5 | Aviário 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Comprimento** | 130 m | 110 m | 130 m | 125 m | 130 m | 125 m |
| **Largura** | 15 m | 12 m | 16 m | 14 m | 16 m | 15 m |
| **Altura interna** | 3,20 m | 2,80 m | 3,10 m | 2,90 m | 3,0 m | 3,0 m |
| **Nº portas laterais** | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| **Distância entre a porta frontal e a 1º porta lateral** | 42 m | 52 m | 38,5 m | 37 m | 45 m | 40 m |
| **Distância entre a 1º porta lateral e a 2º porta lateral** | 37 m | - | 38,5 m | 37 m | 40 m | 40 m |
| **Possibilidade de acesso de caminhões nas portas laterais** | SIM | NÃO | SOMENTE 1º | SOMENTE 1º | SIM | SOMENTE 1º |

De acordo com as medições realizadas, um esboço de uma planta baixa das médias das medidas coletadas foi gerado, como na Figura 2:

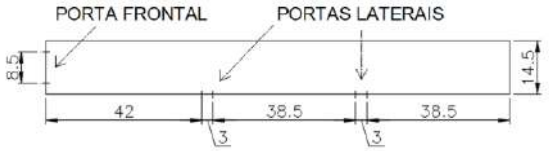



Figura 2. Esboço planta aviário *dark house*

Baseado nas dimensões médias coletadas nos aviários verifica-se que há um pequeno desvio de medidas no que se diz ao comprimento e largura. A disposição das portas laterais apresenta uma maior variação de medidas, pois, como constatado, varia conforme o relevo ao redor de onde é construído. Até pouco tempo atrás, os caminhões que realizam o transporte das aves podiam adentrar no momento do carregamento, hoje, isso não ocorre mais. Esse também é um motivo para abertura de portas laterais nos aviários.

Para atender todas as exigências físicas impostas a estrutura, como, não haver possibilidade de carregamento lateral e grandes distancias entre portas laterais fica definido o tamanho da estrutura para projeto de 40.000 mm. Sendo assim, o ponto de partida para início das escolhas de matérias e cálculos necessários.

### 2.4.2 Definição do material

Como existe a necessidade de fabricar uma estrutura que seja o mais leve possível não perdendo a robustez necessária, o material que traz mais vantagens numa relação custo benefício é um aço de baixa liga. Um dos motivos é que o aço de baixa liga alia custo com uma boa resistência e robustez a estrutura. Além disso, os aços de baixa liga apresentam grande vida útil, com uma média resistência a corrosão, o que é interessante ao ambiente de aplicação.

O aço ASTM A36 é aplicado em diversos componentes estruturais tendo suas propriedades físicas bem definidas que permitem sua utilização em projetos que exigem dobramento e boa soldabilidade. Sua classificação é de resistência intermediaria, com grandes aplicações em componentes estruturais variados como: pontes, estruturas de máquinas, galpões, edifícios, etc (TENAX, 2018).

### 2.4.3 Escolha e dimensionamento da corrente transportadora e engrenagem de acionamento

Para a escolha da corrente que irá realizar o transporte das caixas foram definidas 3 exigências que deverão ser atendidas: peso razoavelmente baixo por metro linear, proporcionar o acoplamento de acessório com batente para deslocar a caixa e suportar a carga exigida pelo peso das caixas. Com a aplicação destas restrições foram retirados do catálogo do fabricante de correntes chamado Cerello Correntes e Engrenagens Industriais os valores necessários apresentados no Quadro 3 no final da seção.

Após a escolha da corrente, segundo Melconian (2012), devem-se projetar as engrenagens que irão realizar o movimento das correntes. Neste caso, as engrenagens motoras e movidas serão iguais, pois o uso da corrente é para transporte.

Os dados iniciais para dimensionamento das engrenagens são extraídos da corrente escolhida, para haver engrenamento entre os mesmos. De acordo com Provenza (1982), o cálculo da engrenagem deve-se iniciar pelo diâmetro primitivo (Do), onde se baseia todos os demais cálculos.

A dimensão de largura de cubo somada a largura do dente profere uma boa resistência a engrenagem e possibilita realizar um bom sistema de fixação no eixo. O sistema de fixação no eixo, que será calculada conforme o torque exigido no mesmo será feito com pino elástico de aço e furo passante pela engrenagem e eixo.

As dimensões de largura e diâmetro de cubo foram deduzidas de forma empírica de acordo com tabelas encontradas em Melconian (2012).

Com a definição de todas as dimensões das engrenagens e com as especificações da corrente retiradas do fabricante, e com a distância entre centros das engrenagens motoras e movidas definidas no item anterior, segundo Provenza (1982), é possível calcular o número total de elos de uma das correntes.

A partir das medidas da corrente e acessório pode-se definir a distância que os acessórios irão estar dispostos. Essa distância define quantas caixas poderão ser transportadas simultaneamente sobre a estrutura. Esse dado é retirado da Lista de Requisitos, sendo desejado transportar 18 caixas simultaneamente. As caixas são transportadas manualmente empilhadas de 3 em 3 devido a densidade da mesma. Devido a esse empilhamento e o desejo de transportar 18 caixas simultaneamente tem-se como razão de distância = 6. Assim, como comprimento efetivo de carga a distância entre centros da engrenagem (40000 mm) definida e o comprimento total de uma corrente (80354 mm) calculado.

Frisando que todos os cálculos realizados nesta seção foram baseados em uma unidade de engrenagem e para um conjunto de corrente, e são validos para os demais que irão compor a estrutura. Realizados todos os cálculos necessários para o fornecimento na corrente e engrenagem a Tabela 3 abaixo mostra as principais dimensões.

Tabela 3. Principais dimensões das engrenagens e correntes

| **CORRENTE SÉRIE S-32** | | **ENGRENAGEM CALCULADA** | |
|---|---|---|---|
| **Característica** | **Dimensão** | **Característica** | **Dimensão** |
| Passo | 29,21 mm | Passo | 29,21 mm |
| Distância entre placas | 15,88 mm | Diâmetro primitivo | 112,86 mm |
| Diâmetro dos rolos | 11,43 mm | Diâmetro interno | 101,32 mm |
| Diâmetro dos pinos | 5,00 mm | Diâmetro externo | 122,35 mm |
| Largura do pino da corrente | 26,7 mm | Diâmetro de base | 109,1 mm |
| Altura das placas | 13,5 mm | Diâmetro do cubo | 60 mm |
| Altura do acessório | 16,5 mm | Ângulo de pressão | 15° |
| Largura total do acessório | 42,88 mm | Ângulo de flanco | 15° |
| Carga máxima de ruptura | 21.582 N | Espessura do dente | 12,23 mm |
| Peso da corrente | 0,75 kg/m | Largura total da engrenagem | 45 mm |

### 2.4.4 Cálculo da força sobre as engrenagens

Nesta seção serão avaliadas as condições de força sobre as engrenagens onde serão avaliadas as condições de peso do conjunto caixa/corrente e as condições do atrito. A força calculada exercida nos dentes das engrenagens é o ponto de partida para os demais cálculos que englobam diâmetro do eixo, torque, velocidade e potência.

Para o cálculo da força será avaliada a estrutura como um todo, pois as caixas são transportadas sob duas correntes, sendo assim, será trabalhado com a carga de ruptura das duas correntes:

$$Fmáx = Nºcorrentes\ x\ Fruptura \text{ [N]} \quad (1)$$

Para Fruptura sendo a força de ruptura por corrente fornecida pelo fabricante da corrente. A força calculada não pode exceder a força máxima dada pelo fabricante. Se isso acontecer, a estrutura estará sujeita à falha levando à ruptura das correntes ou engrenagens.

O peso das correntes é fornecido pelo fabricante por metro linear de corrente, assim com o tamanho de uma corrente, temos o peso total das correntes pela equação:

$$FPcorr = Pcorr\ x\ Nºcorrentes\ x\ Lcorr\ x\ Ag \text{ [N]} \quad (2)$$

Sendo, Pcorr o peso por metro de corrente (kg/m), Nºcorrentes o número de correntes da estrutura, Lcorr (m) o comprimento de uma corrente e Ag é a aceleração gravitacional (m/s²) que atua como fator de conversão de unidade para a força peso das correntes (FPcorr) ser convertida para Newtons (N).

Para definir a força peso exercida pelas caixas que estão sendo transportadas sob as correntes segundo Carvalho (2001), o peso de 22 kg por caixa carregada. De acordo com a bibliografia o recomendado é o carregamento com 22 kg

por caixa, mas para questão de segurança será realizado o cálculo com o peso do conjunto caixa/aves sendo 30 kg. Conforme a Lista de Requisitos irá ser transportadas 18 caixas simultaneamente, sendo assim, o peso total das caixas:

$$FPcaixas = Pcaixa\ x\ Nºcaixas\ x\ Ag \text{ [N]} \quad (3)$$

Sendo, Pcaixa é o peso definido para cada caixa (kg), Nºcaixas o número de caixas sendo transportadas e Ag é a aceleração gravitacional (m/s²) que atua como fator de conversão de unidade para que a força peso das caixas (FPcaixas) seja convertida para Newtons (N).

A força de atrito entre as caixas e a correntes é desprezível, pois devido aos acessórios de transporte acoplados aos elos da corrente não deixa que a caixa se movimente sobre as correntes durante o trecho percorrido pelas mesmas.

A análise do atrito entre a corrente e a estrutura é ilustrado pela Figura 3, apresentada a seguir:

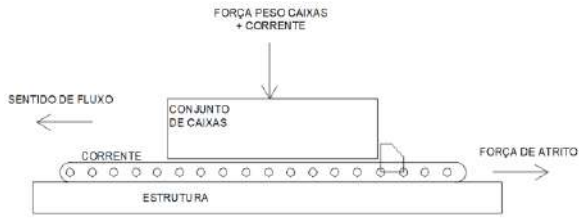



Figura 3. Representação da força de atrito

A Figura 3 mostra o sentido de fluxo das caixas, onde, as mesmas estão em momento estático sobre as correntes devido a estarem bloqueadas pelo acessório de anteparo alocado à corrente, sendo a mesma tracionada e gerando o atrito sobre a estrutura. Por consequência, surge a força de atrito contrário ao movimento, que leva em consideração a soma do peso das caixas e do peso do comprimento das correntes em atrito.

A força de atrito gerado pelo contanto da corrente com o perfil da estrutura provem do peso das correntes e da carga que estão sendo transportadas por ela, assim, calcule-se a força normal baseando-se na figura anterior:

$$FN = FPcaixas + \frac{FPcorr}{2} \text{ [N]} \quad (4)$$

Para, FPcaixas sendo o total das caixas em movimento (N) e FPcorr o peso das correntes (N). A força peso das correntes na equação acima está dividindo por 2 pois somente metade da corrente está em atrito com o perfil da estrutura, a outra metade da corrente encontra-se na parte inferior do perfil retornando, havendo um atrito muito pequeno que se torna desprezível. Com a força normal calculada, segundo Provenza (1982), o coeficiente de atrito estático aço/aço é de 0,74 e o coeficiente de atrito em deslizamento aço/aço é de 0,57. Para o cálculo a seguir, por questão de segurança, será utilizado o coeficiente de atrito estático:

$$Fat = FN\ x\ \mu \text{ [N]} \quad (5)$$

Nesta equação, FN é a forma normal (N) calculada na Equação 4 e μ é o coeficiente de atrito estático (adimensional) entre aço/aço. A força total imposta às duas engrenagens motoras que irão executar o movimento das correntes pela equação:

$$Ftotal = Fat + FPcorr + FPcaixas \text{ [N]} \quad (6)$$

Na equação acima, a Fat é a força de atrito do conjunto (N), a FPcorr é força peso da corrente (N) e FPcaixas é a força peso exercida pelas caixas (N).

Segundo Melconian (2012), a carga que uma corrente de rolos exerce sobre as engrenagens motoras é calculada pela seguinte equação:

$$Feng = Ftotal\ x\ K\ x\ Ns \text{ [N]} \quad (7)$$

Sendo, Ftotal a força total exercida sobre o sistema calculada pela Equação 20, K é o fator de operação do sistema e Ns é o coeficiente de segurança imposto ao projeto sendo igual a 2. O fator de operação (K) é proveniente da equação:

$$K = Ks\ x\ Kl\ x\ Kpo \text{ [adimensional]} \quad (8)$$

Onde, Ks é o fator de serviço da operação, Kl é o fator de lubrificação e Kpo é o fator de posição em que a operação é realizada. Neste projeto temos fator de serviço como carga com impactos e operação continua; o fator de lubrificação

como sem lubrificação; o fator de posição de trabalho sendo o centro da transmissão horizontalmente. Com o valor K calculado pode-se realizar o cálculo da Equação 7, que tem como resultado para Feng = 28176,30 N.

Com a força calculada definida, é feito a comparação com a carga máxima que as correntes suportam, sendo, o resultado da Equação 1 (Fmáx = 43164,0 N) ao resultado da Equação 7 (Feng = 28176,3 N). Conclui-se que, a força máxima suportada pelas correntes é maior que a força calculada baseada nas condições de trabalho (Fmáx>Feng), assim, podendo dar sequência no projeto.

### 2.4.5 Cálculo do diâmetro do eixo das engrenagens

Nesta seção serão avaliadas as condições para cálculo do eixo na vida em fadiga onde as engrenagens serão acopladas. O cálculo será feito no eixo onde será acoplada a caixa redutora e por sequencia o motor de acionamento. O cálculo será valido para todos os eixos que são compostos pelas engrenagens.

O eixo será calculado na vida em fadiga para vida infinita, segundo Budynas (2016), seguindo todos passos propostos pelo menos utilizando as informações fornecidas pelo material escolhido para compor a estrutura.

Após realizado todo procedimento de cálculos proposto por Budynas (2016), de acordo com o resultado do diâmetro do eixo, o diâmetro mais próximo e acima fornecido por fabricante é de 30 mm, que será a dimensão utilizada na estrutura. Com o diâmetro do eixo definido, como mostra a figura acima, retira-se do catalogo do fabricante FRM Fábrica de Mancais e Rolamentos os mancais que irão ser parafusados na estrutura para que os eixos trabalhem em paralelo um ao outro e perpendicular aos perfis da estrutura. O mancal foi escolhido conforme diâmetro do eixo calculado. As medidas representadas na figura acima são: A=31 mm, B=6,35 mm, C=12 mm, D=82,5 mm e E=118 mm. O mancal é fabricado com o material de ferro fundido. O diâmetro do eixo do rolamento é de 30 mm.

### 2.4.6 Cálculo da potência do motor e relação de transmissão

A potência do motor é calculada a partir da força sobre a engrenagem. Com o valor da potência do motor deve-se selecionar um motor disponível no mercado que atenda aos requisitos de cálculo, igualmente para a caixa redutora.

A definição da potência do motor inicia-se pelo cálculo do torque que o eixo está sendo sujeitado, segundo Melconian (2012).

Depois do cálculo do momento deve-se definir a velocidade com que as correntes irão trabalhar. Contendo a informa que a estrutura terá 40.000 mm de comprimento definido anteriormente e, conforme a Lista de Requisitos, o conjunto de caixas deve atravessar todo o comprimento da estrutura em 200 segundos, temos:

$$Vel = \frac{distância}{tempo} \text{ [m/s]} \quad (9)$$

Para a distância de 40 m e o tempo de 200 segundos, a equação tem como resultado de 0,2 m/s. Sendo assim, é possível selecionar o motor que irá compor a estrutura.

O modelo que será usado para compor a estrutura será com alimentação por eletricidade. Sabe-se que no mercado os motores elétricos mais usuais são fornecidos com rotações nominais de 1710 rpm e 3420 rpm. Assim, podemos definir as relações de transmissão que poderão ser usadas conforme a escolha da rotação nominal do motor e escolha da caixa redutora. Esse dado é usado para seleção da caixa de redução, onde será selecionada para um motor de baixa rotação, visando a economia de energia.

Para a escolha do conjunto motor/caixa redutora foi escolhido um motoredutor que é composto com motor do fabricante Weg S.A. e a caixa redutora do fabricante Cestari Redutores. Para o conjunto foi extraído dos fabricantes as especificações do motor e caixa de redução na Tabela 4.

Tabela 4. Informações do motor e caixa redutora

| **MOTOR** | | **CAIXA REDUTORA** | |
|---|---|---|---|
| **Característica** | **Dimensão** | **Característica** | **Dimensão** |
| Potência | 10 CV | Rotação de entrada | 1750 rpm |
| Rotação | 1750 rpm | Rotação de saída | 34 rpm |
| Polaridade | Trifásico | Relação de transmissão | 1 para 50,95 |
| Tensão | 220/380 V | Torque na saída | 1922,17 Nm |
| Corrente | 25,8 A | Peso | 100 kg |
| Peso | 62 kg | Rendimento | 0,94 |
| Rendimento | 0,9 | Diâmetro do eixo de saída | 30 mm |

De acordo com as especificações dadas pelo fabricante comparado aos resultados, respectivamente, rotação e relação de transmissão, a caixa escolhida está apta a ser instalado na estrutura cumprindo as exigências de rotação de saída, torque de saída e diâmetro do eixo de saída.

A chave de acionamento para o motor elétrico foi escolhida do catálogo do fabricante Lombard Chaves Elétricas e Ferramentas de acordo com as especificações do motor. O modelo escolhido possui acionamento reversível, o que possibilita com que a estrutura exerça duas funções: de levar as caixas vazias do caminhão até o local onde irá ser feito o carregamento das mesmas e a função de desloca-las carregadas de volta ao caminhão. O acionador tem como especificações: potência de acionamento de 10 CV, voltagem de 220 V e corrente nominal de 60 A.

### 2.4.7 Movimentação da estrutura

A maneira de como movimentar a estrutura dentro do núcleo de criação tem grande importância para a mesma cumprir sua função. Devido ao seu tamanho e, por consequência o peso, isso não irá ser executado manualmente. Pensando nisso, projetou-se o sistema de tração da estrutura pela barra de tração dos tratores, facilitando a locomoção da estrutura. Devido ao comprimento da estrutura foram adicionados mais trens de movimentação que são diretamente soldados a estrutura pela chapa superior do trem. A estrutura possui cinco trens de movimentação, onde o primeiro trem possui a barra de tração e estão distantes 500 mm do início da estrutura, os três trens centrais estão distantes 9500 mm entre eles e o ultimo trem está a 1750 mm do fim da estrutura. As rodas do trem de movimentação são compostas com aro de alumínio com rolamento embutido, pneu e câmara inflável de borracha possuindo capacidade de carga de 350 kg por conjunto roda/câmara/pneu. O diâmetro de eixo do rolamento é de 25 mm e o diâmetro total do conjunto é de 250 mm.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado final do projeto pode ser melhor visualizado na Figura 4, que apresenta algumas imagens renderizadas.



Figura 4. Vistas renderizadas do projeto.

A Figura 4A representa o início da estrutura onde o operador realiza o acionamento da chave ligando o motor. A Figura 4B representa a parte final da estrutura. A estrutura completa com as dimensões totais, para melhor visualização encontra-se no Apêndice B. Como definido anteriormente, toda a parte estrutural da estrutura será construída no material ASTM A36 e os demais componentes nos materiais fornecidos pelos fabricantes. Antes da montagem da estrutura, todas as chapas, eixo, cantoneira e perfis deverão ser pintados por meio de pintura liquida para proteger a integridade do material. Na Figura 5 uma melhor visualização da montagem do conjunto.

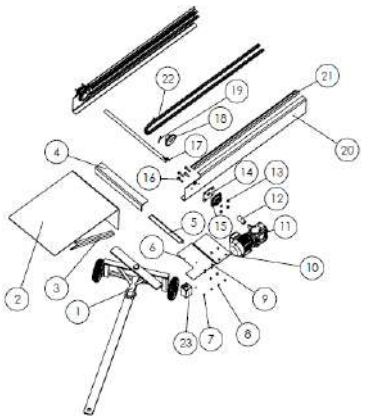



Figura 5. Detalhamento da estrutura

Os perfis (21 e 20) são adquiridos em barra de 6 metros e são unidos por meio de solda entre os mesmos e também na montagem de um sobre o outro. Entre os perfis são soldadas cantoneiras (4) para junção dos dois perfis laterais espaçadas com 8050 mm cada. Os mancais (15) são fixados na estrutura por parafusos (16) e porcas (13) para após as correntes (22) serem montadas sobre as engrenagens (18) que são acopladas no eixo (17) e fixadas por meio de pino elástico metálico (19). O mesmo processo e componentes é realizado na outra extremidade da estrutura. As correntes são fornecidas pelo fabricante no formato e tamanho certo para a estrutura. No eixo mancalizado (17) do início da estrutura será acoplado o conjunto motoredutor (11) por meio de uma luva de acoplamento (12). O motoredutor é fixado na chapa (6), que está soldada na estrutura, por meio de parafusos (10) e porcas (8). Na mesma chapa (6) é fixada a chave reversora de acionamento (23), também por parafusos (9) e porcas (7). Junto à cantoneira de sustentação (4) está soldada a prateleira de colocação/retirada das caixas sendo suportada pelo reforço (3), esse mesmo processo e componentes é realizado na outra extremidade da estrutura. O trem de tração (1), para melhor compreensão, é detalhado na Figura 6:

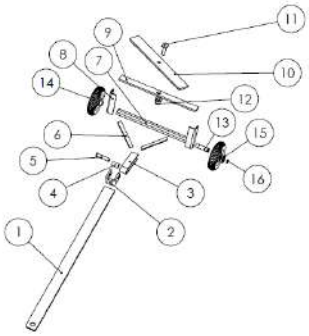



Figura 6. Detalhamento trem de tração

A chapa de ligação à estrutura (10) é onde o trem é fixado à estrutura por meio do parafuso (11) e da porca (12). O quadro do trem é formado por uma chapa superior (9) que são soldadas às cantoneira laterais (8) e à cantoneira interior (7) onde são soldados os eixos (13) onde são montados os conjuntos aro/pneu (14) que são travados para rodar por arruela (15) e por anéis de retenção (16). Também na cantoneira inferior (7) é soldado o conjunto de tração por meio da primeira barra de tração (3) que tem reforços (6). A barra de tração intermediária (2) é unida à primeira barra por meio de pino (5) e bucha (4). Na barra intermediária é soldada a barra principal de tração (1).

Estas imagens mostram como é realizada a montagem da estrutura. Por questão de mobilidade e transporte, a estrutura deverá ser montada por profissionais diretamente onde será utilizada. Todos os itens são adquiridos e fabricados antes do início da montagem.

Desta forma, foi possível fazer uma pesquisa do preço destas peças e o custo de matéria prima para produção e por meio dela o custo de materiais do sistema de transporte desenvolvido. O custo total de produção é de R$ 24.025,85.

O presente trabalho traz custos de peças compradas e fabricadas para uma unidade de construção da estrutura. Hoje, o custo de um aviário convencional chega à faixa de investimento de R$ 250.000,00. Comparado a estrutura, o investimento ficaria na faixa de 10%. Em relação ao aviário do modelo *dark house*, que hoje o investimento gira na faixa de R$ 1.000.000,00, o projeto representa praticamente 2,5%. Devido a baixa porcentagem compara ao total do custo de construção do aviário modelo *dark house*, o produto em projeto no presente trabalho poderia ser incluído no custo da construção, de maneira que, o sistema de transporte de caixas já seja um item exigido no modelo em que as empresas exigem do agricultor, não havendo alterações significativas no orçamento total.

Caso seja executada a fabricação do projeto para maiores lotes, os custos tendem a cair bastante e pode-se assim diminuir também o valor de venda e manter da mesma forma uma boa margem de lucro.

## 4. CONCLUSÕES

A partir de estudos e pesquisas este trabalho teve como objetivo desenvolver o projeto conceitual de um sistema de transporte de caixas de aves vivas dentro do seu núcleo de criação, que atenda às necessidades dos integrantes da equipe que realizam esta etapa do carregamento.

Chegar a um produto final com um baixo custo de produção não é uma tarefa rápida e fácil. Unindo-se estas duas, obteve-se um bom resultado final com altos benefícios. O uso da metodologia norteia todo o processo da construção do produto, desde o planejamento até uma possível comercialização, isso fez com que as conclusões fossem mais precisas, sem que houvesse perda de tempo e de trabalho.

Com relação ao dimensionamento da estrutura, foram realizadas visitas aos aviários do modelo *dark house*, que é aa principal área de aplicação devido a ser um sistema que está recebendo um grande incentivo, por parte das empresas de criação de aves de corte, com a migração dos aviários convencionais para o novo modelo.

O desenvolvimento de uma estrutura adequada começou por desenhos preliminares que foram analisados separadamente até a definição da melhor configuração. Após foram definidas as exigências que a estrutura deveria suportar, fazendo os cálculos para que os componentes fabricados e escolhidos cumpram com a sua função e não venham a ocorrer uma falha precoce. O dimensionamento das engrenagens veio por meio da escolha da corrente, baseado em baixo peso por metro e com carga de ruptura suficiente, retirando os dados que o fabricante fornecia. O ponto de partida dos cálculos dinâmicos foi determinado pela quantidade de caixas que a estrutura deveria transportar simultaneamente, assim foi definida a força que deve ser empregada ao eixo motor considerando o próprio peso das caixas, peso das correntes e o atrito que a combinação das caixas e correntes sofre sobre a estrutura. Com a força necessária a realização do movimento foi realizados os cálculos de torque no eixo, velocidade, potência, rotação e dimensionamento dos componentes estruturais ligados a ele. Assim, podendo selecionar os componentes necessários dos catálogos dos fabricantes como os mancais de rolamento, motor, caixa redutora e chave de acionamento.

Após o dimensionamento total, foram encontrados alguns inconvenientes como a mobilidade da estrutura com o acarretamento do peso total, por ser de um tamanho considerável, sendo resolvido com a adição no projeto de trens de tração e rodagem executado por trator.

Desta forma, complementou-se o desenvolvimento do anteprojeto com todas as peças dimensionadas e projetadas, como resultado disso, o projeto final. As partes principais do projeto foram detalhadas para um melhor entendimento do funcionamento de cada uma delas. Foram indicadas as peças que serão fabricadas, bem como, as peças que encontradas comercialmente.

As dimensões dos aviários variam conforme a disponibilidade do terreno e do relevo, em função disso, o projeto desenvolvido no presente trabalho poderá ser dimensionado conforme a demanda do produtor, variando o seu comprimento, mas mantendo o mesmo princípio de funcionamento, não acarretando grandes modificações no projeto e montagem.

Com uma tabela de custos mostra-se o valor final do projeto sem acrescentar margem de lucro. Devido ao custo da estrutura, ela se torna inviável a aplicação em aviários convencionais devido a representar alta porcentagem perante o investimento e também por ser um modelo que está cada vez mais em desuso. Em contra partida, no modelo *dark house*, o investimento se torna rentável, pois representa uma pequena porção do investimento total, diminuindo o número de pessoas envolvidas no carregamento e otimizando o seu tempo.

No mercado de esteiras aplicadas a esse fim, o modelo desenvolvido traz características diferenciadas com as demais encontradas no mercado. Neste sentido, o sistema pode trazer grandes benefícios aos avicultores e aos integrantes das equipes de carregamento, mostrando uma solução positiva.

## 5. REFERÊNCIAS

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K**. Elementos de máquinas de Shigley: Projeto de engenharia mecânica**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

CARVALHO, M.F.A. **Manejo final e retirada**. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2001, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: FACTA, 2001. p.59-68.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de máquinas**. 10. ed. São Paulo: Érica, 2012. 376 p.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PROVENZA, Francesco. Mecânica aplicada. São Paulo: PRO-TEC, 1982. 3 v.

RUI, Bruno Rogério; ANGRIMANI, Daniel de Souza Ramos; SILVA, Marcos Augusto Alves da. Pontos críticos no manejo pré-abate de frango de corte: jejum, captura, carregamento, transporte e tempo de espera no abatedouro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 7, p.1290-1296, jul. 2011. Disponível em: <http://submission.scielo.br/index.php/cr/article/viewFile/44968/4507>. Acesso em: 16 set. 2018.

TENAX, Aços especiais. Disponível em: < http://www.tenax.com.br/tenax/produtos/acos-para-construcao-mecanica/astm-a36/> Acesso em: 01/05/2019

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# APLICATIVO ANDROID PARA O DIMENSIONAMENTO DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO DE ACORDO COM A ABNT NBR 14762:2010

**Felipe Castelli Sasso**
**Fernando Busato Ramires**
**Zacarias Martin Chamberlain Pravia**
Universidade de Passo Fundo, BR-285, São José, Passo Fundo/RS, CEP: 99052-900
castellisasso@gmail.com; fernandoramires@upf.br; zacarias@upf.br

***Resumo:*** *Este trabalho apresenta o aplicativo PFF-NBR14762, desenvolvido para a verificação e dimensionamento de perfis de aço formados a frio, seguindo os procedimentos prescritos pela norma brasileira ABNT NBR 14762:2010. O aplicativo foi desenvolvido no ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio, em linguagem de programação Java, podendo ser utilizado no sistema operacional Android. Para validar seus resultados, fez-se uma análise comparativa aos resultados obtidos no software comercial mCalc3D. O aplicativo encontra-se disponível para download na loja de distribuição de aplicativos Google Play.*

***Palavras chave:*** *perfis formados a frio, aplicativo Android, dimensionamento*

## 1. INTRODUÇÃO

O ensino e aprendizado do comportamento e da concepção de projetos estruturais está cada vez mais dependente de dispositivos eficientes que sejam capazes de utilizar softwares, que automatizam as rotinas de cálculos aumentando a produtividade e o tempo disponível para escolher e testar soluções que sejam economicamente viáveis.

Visto que nem todos os profissionais e estudantes de engenharia possuem acesso a esses dispositivos e softwares, progressivamente estão sendo desenvolvidos aplicativos que podem ser utilizados em smartphones e tablets, tornando mais acessível e prático, podendo ser operado em qualquer local e com custos consideravelmente baixos.

Desta forma, o presente trabalho visa apresentar o aplicativo PFF-NBR14762, o qual foi desenvolvido para o dimensionamento de perfis de aço formados a frio, com o objetivo de auxiliar profissionais e estudantes de engenharia em suas atividades. Os procedimentos de dimensionamento do aplicativo, são baseados nas recomendações da norma ABNT NBR 14762:2010. O mesmo foi desenvolvido para a plataforma Android, devido à sua grande popularidade em comparação com as demais presentes no mercado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Perfis formados a frio

Os perfis de aço formados a frio, são fabricados através do dobramento a frio (em temperatura ambiente) a partir de chapas planas, o que possibilita a obtenção de uma grande variedade de formas de seções transversais. Essa variedade e a possibilidade de fabricação de seções não usuais, são vantagens que os perfis formados a frio apresentam quando comparados aos perfis laminados e aos perfis soldados.

As formas usuais são as seções U, seções Z, cantoneiras, seções cartola, seções I, seções T e seções tubulares (YU, 1985, p. 4). Algumas das principais seções utilizadas em perfis formados a frio podem ser vistas na Fig. 1.

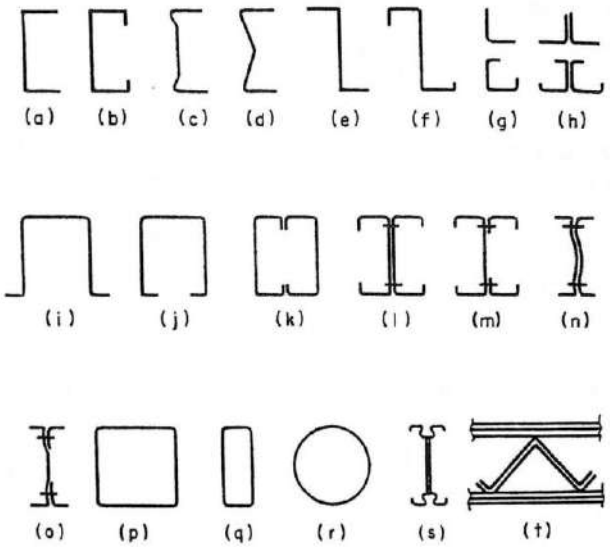



Figura 1. Seções de perfis formados a frio utilizadas em pórticos estruturais.
Fonte: Yu (1985)

Os perfis formados a frio são produzidos em prensas dobradeiras ou em perfiladeiras, processos os quais tornam as características dos PFFs diferentes às dos perfis laminados e soldados. Isso "se deve ao fato de que a operação de dobramento aumenta o limite de escoamento e a resistência à tração, enquanto, ao mesmo tempo, diminui a ductilidade do aço quando comparada às propriedades do aço virgem" (JAVARONI, 2015, p.6).

Além disso, outra particularidade dos perfis formados a frio é a perda de estabilidade local dos elementos planos que compõe a seção transversal, também chamada de flambagem local. Isso se deve à utilização de chapas que elevam a relação entre largura e espessura desses mesmos elementos.

De acordo com Yu (1985) e Javaroni (2015), esses elementos de parede delgada estão sujeitos a flambagem com tensões inferiores à tensão de escoamento do aço, quando os mesmos forem submetidos à esforços de compressão, cisalhamento, flexão ou esmagamento. Dessa forma, os perfis ainda possuem uma resistência pós-flambagem, que é a redistribuição dos acréscimos de tensão para as partes enrijecidas do elemento plano.

Segundo Javaroni (2015), com um modelo de grelha pode-se apresentar tal fenômeno, onde a flambagem é a tendência dos "pilares longitudinais" com as "vigas transversais", que estão tracionadas, diminuindo essa tendência. A Figura 2 ilustra o modelo de grelha. Essa resistência pós-flambagem levou ao desenvolvimento do conceito de largura efetiva, idealizado por Von Karman e corrigido para a determinação da resistência dos perfis formados a frio pelo professor George Winter, na Universidade Cornell, na década de 1940.

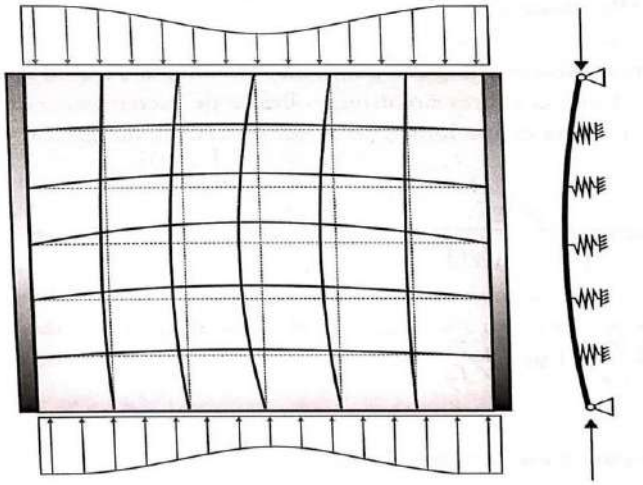


Figura 2. Modelo de grelha para a resistência pós-flambagem de chapa.
Fonte: Javaroni (2015)

Os procedimentos para o dimensionamento de perfis formados a frio, no Brasil, são prescritos pela norma ABNT NBR 14762:2010, a qual aborda além do Método das Larguras Efetivas (MLE), o Método da Resistência Direta (MRD) e o Método da Seção Efetiva (MSE) para a avaliação da flambagem local.

O MLE considera os perfis como placas isoladas vinculadas entre si, na região das dobras entre as mesmas. Esse método requer um maior esforço de cálculo e o comportamento dos perfis é considerado de forma elementar (CARVALHO; GRIGOLETTI; BARBOSA, 2014).

Já o MRD considera a perda de estabilidade local real de um perfil, não apenas dos elementos que o constitui, como é realizado no MLE. Para isso, deve-se ter conhecimento dos valores críticos (força axial ou momento fletor) de flambagem elástica, os quais podem ser obtidos computacionalmente pelo Método dos Elementos Finitos ou pelo Método das Faixas Finitas.

O MSE, desenvolvido pelo professor Eduardo Batista na Universidade Federal do Rio de Janeiro, por ser uma parametrização do MRD, também considera o perfil inteiro. Porém, o método foi desenvolvido para alguns dos perfis mais utilizados na construção em aço. Dessa forma, apesar da facilidade na utilização do MSE, ele ainda é limitado para determinados perfis.

O aplicativo desenvolvido utilizou o Método da Seção Efetiva para a análise da flambagem local, devido a facilidade da implementação computacional e automatização do método para o desenvolvimento da ferramenta.

## 2.2 Android

Introduzido pela *Google* em 2007, o Android é o sistema operacional de smartphones mais popular do mundo desde 2016. Desde o seu lançamento, as vendas de smartphones que utilizam o sistema operacional Android têm crescido. Em 2009, 6,8 milhões de smartphones que possuíam o sistema operacional Android foram vendidos. Em 2015 esse número subiu para mais de 1,16 bilhões. Os smartphones com Android foram responsáveis por cerca de 85% de todas as vendas de smartphones para usuários finais em todo o mundo no início de 2016 (STATISTA, 2019). Na Figura 3 pode-se visualizar a participação global de mercado de sistemas operacionais em dispositivos móveis em vendas para usuários finais do primeiro trimestre de 2009 ao segundo trimestre de 2018.

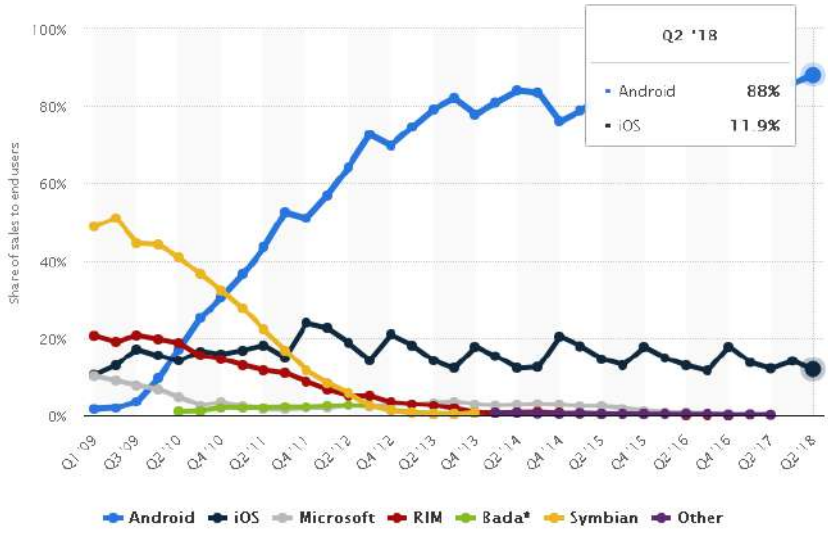



Figura 3. Participação global de mercado de sistemas operacionais em dispositivos móveis em vendas para usuários finais.
Fonte: Statista (2019)

Além de sua grande presença no mercado, outra vantagem de desenvolver aplicativos para o sistema Android é o grau de abertura da plataforma. O sistema operacional é de código-fonte aberto e gratuito. Isso permite ver o código-fonte do Android e como seus recursos são implementados. O grau de abertura da plataforma estimula a rápida inovação. Ao contrário do iOS patenteado da Apple, que só existe em dispositivos Apple, o Android está disponível em aparelhos de dezenas de fabricante de equipamento original (OEMs) e em numerosas operadoras de telecomunicações em todo o mundo. A intensa concorrência entre os OEMs e as operadoras beneficia o consumidor (DEITEL; DEITEL; WALD, 2016).

Após escolher a plataforma operacional, determinou-se a versão mínima do Android para a utilização do aplicativo. Para isso, analisou-se dados sobre a distribuição das versões Android entre os proprietários de dispositivos móveis com o sistema operacional Android. A Fig. 4 ilustra essa distribuição.

| Version | Codename | API | Distribution |
|---|---|---|---|
| 2.3.3 - 2.3.7 | Gingerbread | 10 | 0.3% |
| 4.0.3 - 4.0.4 | Ice Cream Sandwich | 15 | 0.3% |
| 4.1.x | Jelly Bean | 16 | 1.2% |
| 4.2.x | | 17 | 1.5% |
| 4.3 | | 18 | 0.5% |
| 4.4 | KitKat | 19 | 6.9% |
| 5.0 | Lollipop | 21 | 3.0% |
| 5.1 | | 22 | 11.5% |
| 6.0 | Marshmallow | 23 | 16.9% |
| 7.0 | Nougat | 24 | 11.4% |
| 7.1 | | 25 | 7.8% |
| 8.0 | Oreo | 26 | 12.9% |
| 8.1 | | 27 | 15.4% |
| 9 | Pie | 28 | 10.4% |

Figura 4. Distribuição das versões Android entre os proprietários de dispositivos móveis.
Fonte: Google (2019)

Em seguida, ao analisar os dados dispostos na Figura 4 e comparar com as ferramentas incrementadas em cada versão nova do Android, foi escolhida a versão 4.4 Kit Kat como versão mínima para utilizar o aplicativo desenvolvido, essa versão que corresponde à API 19.

## 3. O APLICATIVO PFF-NBR14762

O aplicativo foi desenvolvido com o auxílio da IDE Android Studio, onde seu código foi implementado na linguagem de programação Java. Ao iniciar o aplicativo, é apresentada uma tela inicial, Fig. 5, com os tipos de seções transversais possíveis para dimensionamento, são elas: U simples, U enrijecido, Z enrijecido à 90° e Z enrijecido à 45°. Também na tela inicial, tem-se acesso a informações sobre o aplicativo e os autores, pelo ícone de informação, localizado no canto superior direito da tela inicial. A tela com tais informações pode ser vista na Fig. 6.

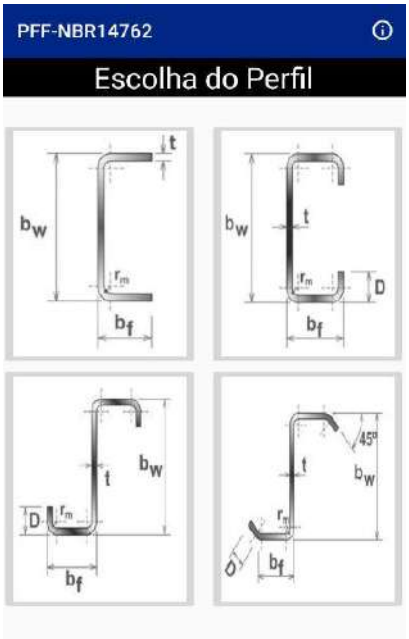



Figura 5. Seções transversais disponíveis para o dimensionamento.

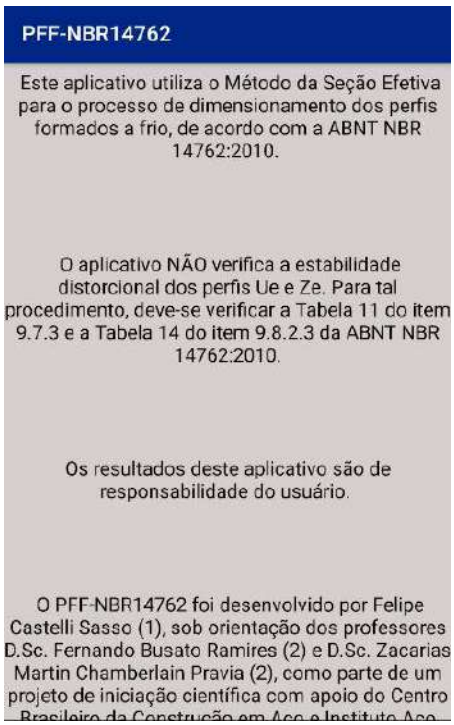



Figura 6. Informações sobre o aplicativo e os autores.

Após escolher a seção transversal do perfil a ser verificado, o usuário deve inserir os dados referentes ao material, como a tensão de escoamento (fy), o módulo de elasticidade longitudinal (E), o módulo de elasticidade transversal (G) e o coeficiente de Poisson (ν). Também deverão ser inseridas as dimensões do perfil, como a altura do mesmo (bw), a largura da aba (bf), a espessura da seção (t) e caso ela possua enrijecedor, a altura deste (D). A tela com os campos para a inserção dos dados do material e das dimensões do perfil podem ser vistos na Fig. 7.

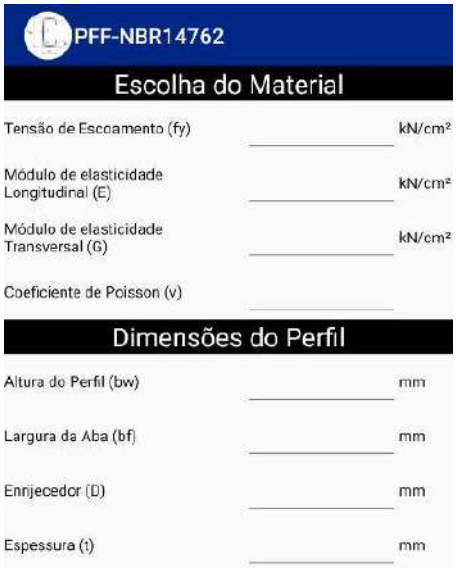



Figura 7. Inserção dos dados do material e das dimensões do perfil.

Utilizando a barra de rolagem, o usuário acessa os campos para inserção dos comprimentos destravados do perfil, do fator de modificação para diagrama de momento fletor não uniforme (Cb) e as solicitações de compressão, tração, cisalhamento e flexão, como mostra a Fig. 8.

Ao pressionar o botão “Verificar” com todos os dados inseridos, é realizado o processo de verificação através da norma ABNT NBR 14762:2010, pelo Método da Seção Efetiva, para a determinação das resistências do perfil à compressão, à tração, ao cisalhamento, à flexão e também as verificações quanto ao momento fletor e força cortante combinados e à flexo-compressão, pelas equações de interação.




Figura 8. Inserção dos comprimentos destravados, do Cb e das solicitações.

Caso algum dos campos para inserção dos dados esteja vazio, ao pressionar o botão “Verificar”, o aplicativo exibirá uma mensagem de erro e um ícone com um ponto de exclamação indicará o primeiro campo vazio, além disso, a verificação não será realizada. A mensagem e a sinalização do campo vazio são apresentados na Fig. 9.

Além das resistências do perfil, o aplicativo poderá exibir algumas mensagens referentes aos resultados obtidos na verificação do perfil. Tais mensagens e suas respectivas causas são apresentadas na Tab. 1.




Figura 9. Mensagem gerada pelo aplicativo ao verificar com um campo vazio.

Tabela 1. Mensagens de erros e suas respectivas causas.

| Mensagem | Causa |
|---|---|
| O perfil está ok! | Nenhum problema encontrado |
| Índice de esbeltez máxima maior que 200. | $\lambda max < 200$ |
| Tração solicitante maior que a resistente. | Nt,Sd > Nt,Rd |
| Compressão solicitante maior que a resistente. | Nc,Sd > Nc,Rd |
| Cisalhamento solicitante maior que o resistente. | VSd > VRd |
| Momento fletor solicitante maior que o resistente. | MSd > MRd |
| Equação de interação do momento fletor e força cortante combinados é maior que 1. | $\left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1{,}0$ |
| Equação de interação da flexo-compressão é maior que 1. | $\left(\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}}\right) + \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right) \leq 1{,}0$ |

## 4. RESULTADOS

Com o objetivo de validar o aplicativo, comparou-se valores obtidos no mesmo com resultados obtidos no módulo mCalc_Perfis do software comercial mCalc3D (STABILE, 2019). Para isso, foram escolhidos perfis padronizados das tabelas do Anexo A da norma ABNT NBR 6355:2012, para cada seção transversal disponível no aplicativo.

Para todas as análises comparativas, foi considerada uma tensão de escoamento de 30 kN/cm², módulo de elasticidade de 200 GPa, coeficiente de Poisson de 0,3 e Cb igual a 1,0.

Nas tabelas abaixo são apresentadas, uma parte das amostras dos resultados da validação do aplicativo. As tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados, respectivamente, quanto à resistência à compressão, a resistência ao cisalhamento e a resistência à flexão dos perfis U.

Os erros nas comparações entre os resultados obtidos pelo aplicativo PFF-NBR14762 e o software mCalc3D devem-se aos diferentes métodos que as ferramentas utilizam para o cálculo das propriedades geométricas das seções transversais. Enquanto o PFF-NBR14762 utiliza expressões fornecidas pela norma ABNT NBR 6355:2012, o mCalc3D calcula as propriedades pelo Método Linear, o que gera uma pequena diferença nas propriedades geométricas das seções e consequentemente nos resultados finais de resistência dos perfis.

Tabela 2. Resultados da resistência à compressão de perfis U.

| Dimensões do Perfil (mm) | Lx = Ly = Lz (cm) | $N_{cRd}$ (kN) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | PFF-NBR14762 | mCalc_Perfis | Erro relativo | Erro absoluto |
| **50 x 25 x 1,20** | 100 | 10,60 | 10,29 | 2,92% | 0,31 |
| **75 x 40 x 2,00** | 100 | 42,59 | 42,66 | 0,16% | 0,07 |
| **100 x 75 x 2,65** | 200 | 55,29 | 57,44 | 3,89% | 2,15 |
| **125 x 75 x 3,00** | 200 | 91,73 | 92,68 | 1,04% | 0,95 |
| **150 x 75 x 3,00** | 300 | 67,66 | 68,32 | 0,98% | 0,66 |
| **200 x 75 x 3,00** | 300 | 84,26 | 84,15 | 0,13% | 0,11 |
| **250 x 100 x 3,35** | 300 | 145,54 | 145,67 | 0,09% | 0,13 |
| **300 x 100 x 2,65** | 300 | 103,58 | 103,61 | 0,03% | 0,03 |

Tabela 3. Resultados da resistência ao cisalhamento de perfis U.

| Dimensões do Perfil (mm) | Lx = Ly = Lz (cm) | $V_{Rd}$ (kN) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | PFF-NBR14762 | mCalc_Perfis | Erro relativo | Erro absoluto |
| **50 x 25 x 1,20** | 100 | 8,88 | 8,88 | 0,00% | 0,00 |
| **75 x 40 x 2,00** | 100 | 21,93 | 21,93 | 0,00% | 0,00 |
| **100 x 75 x 2,65** | 200 | 38,77 | 38,77 | 0,00% | 0,00 |
| **125 x 75 x 3,00** | 200 | 55,47 | 55,47 | 0,00% | 0,00 |
| **150 x 75 x 3,00** | 300 | 67,75 | 67,75 | 0,00% | 0,00 |
| **200 x 75 x 3,00** | 300 | 92,11 | 92,11 | 0,00% | 0,00 |
| **250 x 100 x 3,35** | 300 | 114,86 | 114,86 | 0,00% | 0,00 |
| **300 x 100 x 2,65** | 300 | 52,90 | 52,90 | 0,00% | 0,00 |

Tabela 4. Resultados da resistência à flexão de perfis U.

| Dimensões do Perfil (mm) | Lx = Ly = Lz (cm) | $M_{Rd}$ (kN) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | PFF-NBR14762 | mCalc_Perfis | Erro relativo | Erro absoluto |
| **50 x 25 x 1,20** | 100 | 31,62 | 31,43 | 0,60% | 0,19 |
| **75 x 40 x 2,00** | 100 | 158,05 | 156,13 | 1,21% | 1,92 |
| **100 x 75 x 2,65** | 200 | 386,02 | 382,56 | 0,90% | 3,46 |
| **125 x 75 x 3,00** | 200 | 618,83 | 612,70 | 0,99% | 6,13 |
| **150 x 75 x 3,00** | 300 | 625,28 | 622,03 | 0,52% | 3,25 |
| **200 x 75 x 3,00** | 300 | 869,74 | 865,88 | 0,44% | 3,86 |
| **250 x 100 x 3,35** | 300 | 1705,94 | 1692,51 | 0,79% | 13,43 |
| **300 x 100 x 2,65** | 300 | 1418,73 | 1409,34 | 0,66% | 9,39 |

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste trabalho o aplicativo PFF-NBR14762, que buscar servir como ferramenta de ensino e utilizados nas práticas de projeto estrutural no dimensionamento de elementos estruturais formados por perfis de aço formados a frio, de acordo com os procedimentos prescritos na norma ABNT NBR 14762:2010.

O aplicativo foi publicado no Google Play, podendo realizar seu download gratuitamente, o que permite sua acessibilidade para todos os interessados.

É válido ressaltar que por ser um aplicativo de uso livre, nem os autores, nem a Universidade de Passo Fundo, nem qualquer outra instituição ligada ao aplicativo possui quaisquer deveres legais ou responsabilidades relativas ao uso de forma incorreta do PFF-NBR14762. O usuário é responsável por qualquer conclusão a partir da utilização da ferramenta.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) pelo apoio fornecido durante o desenvolvimento do aplicativo e à Universidade de Passo Fundo pelo incentivo ao desenvolvimento da pesquisa científica, através do Programa de Voluntários de Iniciação Científica (PIVIC).

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, P. R. M. de; GRIGOLETTI, G.; BARBOSA, G. D. Curso básico de perfis de aço formados a frio. 3 ed. Porto Alegre: [s.n.], 2014.

DEITEL, P.; DEITEL, H.; WALD, A. Android 6 para programadores: uma abordagem baseada em aplicativos. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

GOOGLE. Android Developers. 2019. Disponível em: <https://developer.android.com/about/dashboards>. Acesso em: 22 ago. 2019.

JAVARONI, C. E. Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

STABILE ENGENHARIA. mCalc3D. 2019. Disponível em: <http://www.stabile.com.br/mcalc3d.php>. Acesso em: 22 ago. 2019.

STATISTA, The Statistics Portal. Global mobile OS market share in sales to end users from 1st quarter 2009 to 2nd quarter 2018. 2019. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/266136/global-market-share-held-by-smartphone-operating-systems/>. Acesso em: 22 ago. 2019.

YU, Wei-Wen. Cold-Formed Steel Design. New York: Wiley-Interscience, 1985.

## 8. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DO CONCEITO DE UMA BRUNIDORA VERTICAL

**Márcio Walber**
**Guilherme Pedro Sousa**
**Ricardo Anesi**
Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS.
mwalber@upf.br; 148109@upf.br; ricardo169.ieq@hotmail.com;

**Resumo.** *Diante da competitividade e aumento da demanda produtiva, verifica-se a necessidade de tornar o trabalho cada vez mais rápido e prático contando com auxílio de máquinas, ferramentas e mecanismos inovadores que tornem o trabalho mais ágil e viável. O presente estudo trata do projeto de uma máquina Brunidora Vertical, empregada na usinagem/acabamento de cilindros Hidráulicos. A proposta é abordar o projeto mecânico de máquina utilizada para brunimento de camisa de cilindros hidráulicos. Como resultados, obteve-se o projeto conceitual da máquina brunidora, com especificação dos seus elementos constituintes.*

**Palavras Chave:** *Projeto, brunidora, dimensionamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente tem sido cada vez mais intensa a procura por meios de reduções de tempo em produções aliadas a custos, mas sem descuidar-se da qualidade do produto, o que tem sido um grande diferencial para a predominância das empresas no mercado.

Para absorver esta concorrência as empresas vêm optando por máquinas que produzam ou fabriquem determinados componentes específicos a ela, dessa forma surgem os mais variados projetos de máquinas para efetuar processos específicos.

A proposta deste estudo foi abordar o projeto de uma máquina Brunidora Vertical, utilizada, especificamente, no brunimento de camisa de cilindros hidráulicos. Inicialmente, fez-se uma revisão literária, destacando os tópicos que auxiliam no desenvolvimento do projeto mencionado.

### 1.1 Problema

No processo de fabricação de cilindros ou reparação, após a pré-usinagem, existe um processo de acabamento superficial interno de alta qualidade denominada brunimento.

O brunimento é um processo de acabamento superficial utilizando um bastão de abrasivo que, em contato com a superfície interna combinado com movimentos, remove pequenas partículas de metal corrigindo a ovalização e diminuindo a rugosidade.

Atualmente o processo de brunimento é um grande gargalo na empresa objeto de estudo. Isto se deve por existir apenas uma máquina operando sendo que esta está em partes desatualizada e possuindo movimentos manuais, consequentemente, atrasando progressivamente o processo. A Figura 1 mostra a máquina disponível na empresa.



Figura 1. Brunidora Atual

### 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é desenvolver o projeto da máquina em questão do tipo vertical com capacidade de 600 mm de curso e diâmetro máximo 115 mm e consequentemente buscar otimização de movimentos a fim de acelerar o processo. Para auxiliar o atendimento do objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Diminuir o gargalo no brunimento;
- Projetar uma máquina compacta e eficiente;
- Melhorar o processo de fabricação;
- Utilização de Metodologia de projeto para geração de uma nova concepção ao projeto.

### 1.3 Descrição do processo

Segundo Marvin (1994), o processo de brunimento consiste em nivelar os desníveis mediante uma fricção continua entre a superfície da peça e a superfície da pedra de brunimento. Para haver um brunimento de qualidade é necessário que o processo anterior atinja uma rugosidade entre 3,2 a 6,3 µm. A usinagem deve ser pré-dimensionada, ou seja, com sobre-metal de acordo com cada operação realizada anteriormente, pois o brunimento aumenta o diâmetro interno. Deste modo o fator sobre-metal deve ser dimensionado para obter a peça dentro da tolerância exigida na fabricação do componente. Outro fator a ser observado é a parede da peça, pois no processo de brunimento as pedras são pressionadas contra a parede interna da peça com a finalidade de manter o contato entre a pedra e a superfície a ser trabalhada.

Durante os processos de usinagens, torneamento, trefila, mandrilamento, etc., alguns imprevistos podem acontecer, como: marcas de ferramentas, batidas, porosidades dentre outros. Estes inconvenientes podem ser melhorados através do processo de brunimento.

## 2. METODOLOGIA DE PROJETO

Segundo Pahl et. al. (2005, p.12) o desenvolvimento de um projeto é dividido por contexto de aplicação, oferecendo pesquisa e compilação de dados. Este pode ser dividido em quatro etapas principais: esclarecimento e definição metódica da tarefa, métodos para concepção, metodologias para anteprojeto e métodos para o detalhamento. A Figura 2 apresenta as etapas envolvidas ao longo de um projeto.

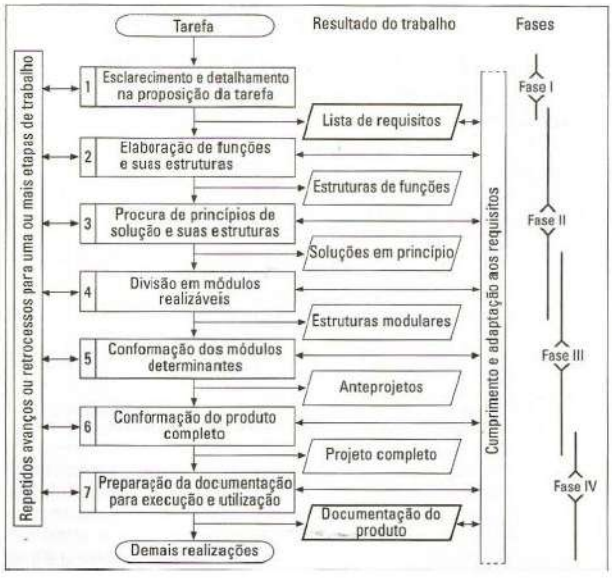



Figura 2. Procedimento utilizado por Pahl et. al.

Como a máquina é complexa e de múltiplas escolhas, na questão de movimentos, será apresentada na seguinte forma: Lista de requisitos, Concepção e anteprojeto.

Na fase inicial, serão definidos os requisitos pertinentes para atender as exigências do projeto através da técnica da Linha Mestra, colocada disposta à lista de requisitos. Logo na segunda fase – Concepção – será gerada uma estrutura de funções para verificação da função global e subfunções a serem executadas pelo equipamento. Através desta lista, será

criada uma variante com possíveis soluções que possa atender ao projeto sendo que será escolhida uma que se enquadre no projeto e com base será apresentado o desenvolvimento dele.

### 2.1 Planejamento do produto

Segundo Budynas (2011, p. 30), arte de projetar é formular um plano ou uma ideia para atender a uma determinada necessidade específica. Ainda pode ser descrita como resolver um problema seja ele complexa ou simples. O conjunto de ideias ou planos origina um projeto para, posteriormente, a criação de algo concreto que deverá ser funcional, seguro, confiável e competitivo para fabricação.

Projetos dependem de tomadas de decisões, seja com falta, compatibilidade ou eventualmente excesso de informações em meio a um processo interativo no qual são avaliados aspectos de segurança, funcionalidade, custo, otimização e confiabilidade.

### 2.2 Lista de Requisitos

Tendo definido como será realizado o trabalho do equipamento através da teoria de brunimento será criada uma linha mestra, tabela 1, citando os principais requisitos do projeto como: Layout, capacidade, tipo de fixação, ergonomia, sistema de segurança, etc. Com base na linha mestra, serão selecionados os requisitos a serem estabelecidos no projeto e estes são classificados em vontades (V) e exigências (E) a fim de que possam ser priorizados na escolha, conforme indica a Tabela 3.

Além da linha mestra, há ainda algumas outras técnicas usais para a geração de requisitos. São alguns exemplos a técnica Delphi, Brainstorming, Método 635, Método da galeria, cinética e aplicação combinada, conforme Pahl et al. (2005).

Vale salientar que as escolhas através da linha mestra podem sofrer alterações ao decorrer do projeto devido a uma série de fatores como exemplo mudança de movimento, segurança, utilização do equipamento, etc.

Tabela 1. Lista de requisitos do produto

| LINHA MESTRA | DB/DA/E | REQUISITOS |
|---|---|---|
| Layout | E | Semelhante a uma fresadora universal com mesa transversal |
| | V | Possuir mesa com deslocamento horizontal |
| Capacidade | V | Brunir camisas de cilindros com 600mm de comprimento e 157mm de diâmetro máximo |
| Operação | E | Os movimentos devem ser hidráulicos através de cilindros hidráulicos |
| Tipo de fixação | E | Através de flanges auto-centrante acionado hidraulicamente |
| Movimento oscilante | V | Através de cilindro hidráulico com válvula compensadora |
| Segurança | E | Deve haver um sistema que, ao abrir a porta, a máquina pare através de chave |
| Ergonomia | E | A máquina deve possuir acionamento automático através do painel de comando evitando a fadiga do operador |
| Acionamento | E | Rotação do eixo arvore através de motor elétrico com variação na rotação e caixa redutora |
| Produção | E | Capacidade superior a atual, semi-automática |

### 2.3 Concepção

Ao concluir a fase inicial com a lista de pré-requisitos a próxima fase é a concepção onde será atualizada a estrutura de concepção conforme indica a Figura 3. A concepção é realizada após o esclarecimento do problema, em conjunto com a estrutura da função e na busca por soluções coerentes define assim o princípio da solução.

Desta forma, a primeira atividade da concepção do projeto consiste na construção da função global, ligadamente com a estrutura de funções e suas respectivas subfunções. A função global descreve a tarefa principal, e a partir disso é determinado um fluxo de energia, material e sinal, que permitirá a análise e a posterior combinação de soluções, para que se possa qualificar as melhores opções que atenderão ao projeto.

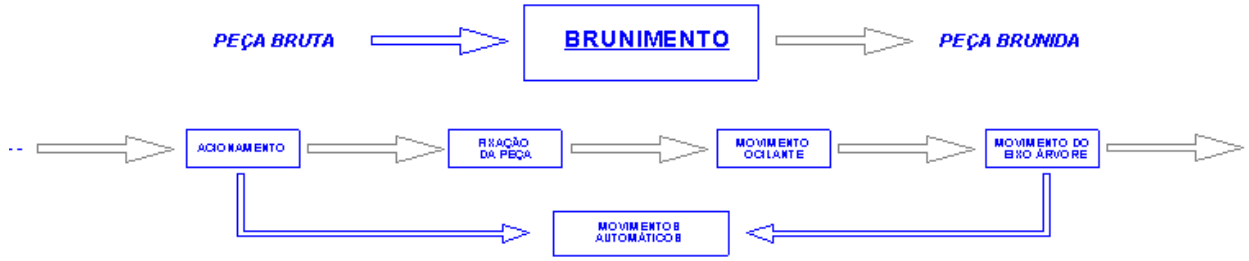



Figura 3. Função Global do Produto e Subfunções

## 2.4 Variantes de solução

Com a definição da estrutura de funções definida e esclarecida, baseada nela, é possível criar uma tabela contendo os princípios de funcionamento de maneira que satisfaça uma das funções e sub-funções definidas, tais opções para os princípios são ilustradas no Quadro 1.

Quadro 1. Princípio de funcionamento

| **Subfunção** | Opção 1 | Opção 2 | Opção 3 | Opção 4 |
|---|---|---|---|---|
| **A-Expansão das pedras** | *Fuso* | *Hidráulico* | *Mecânico (espia)* | |
| **B-Fixação da peça** | *Correntes (abraçando o tubo)* | *Prisma* | *Prensado através de flange* | |
| **C-Movimento oscilante** | *Cilindro hidráulico* | *Motor elétrico e corrente* | *Motor elétrico e correia "V"* | *Motor hidráulico e corrente* |
| **D-Movimento do eixo árvore** | *Motor Hidráulico* | *Motor elétrico e caixa redutora* | *Motor elétrico e correia "V"* | |

Analisando o Quadro 1, é possível observar e escolher as melhores combinações de funcionamento para satisfazer as funções e subfunções da máquina necessárias para o funcionamento. Dessa forma é possível destacar os itens pertinentes surgindo a geração de variante que implica em soluções na qual pode satisfazer a função global transmitida ao problema, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2. Relação de escolhas

| **Subfunção** | Opção 1 | Opção 2 | Opção 3 | Opção 4 |
|---|---|---|---|---|
| **A-Expansão das pedras** | *Fuso* | *Hidráulico* | *Mecânico (espia)* | |
| **B-Fixação da peça** | *Correntes (abraçando o tubo)* | *Prisma* | *Prensado através de flange* | |
| **C-Movimento oscilante** | *Cilindro hidráulico* | *Motor elétrico e corrente* | *Motor elétrico e correia "V"* | *Motor hidráulico e corrente* |
| **D-Movimento do eixo árvore** | *Motor Hidráulico* | *Motor elétrico e caixa redutora* | *Motor elétrico e correia "V"* | |

Diante da escolha foi optada expansão das pedras hidráulica por ser mais simples e com menos componentes se comparado com o fuso. Já a fixação da peça foi selecionada a opção com flanges, pois esta garante que a peça fique centrada ao colocar nas máquinas. As outras opções foram destacadas por vários critérios sendo uma delas a deformação que ocasionaria na peça devido às forças tangencias de aperto. O movimento oscilante foi escolhido hidráulico para aproveitar a força mecânica gerada pela central hidráulica e por necessidade de movimentos precisos. Por fim escolhido movimento do eixo árvore motor elétrico com caixa de engrenagens ou mais conhecida como moto redutor por combinar a necessidade de torque e baixa rotação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a fase de concepção objetivada a próxima fase a ser executada é a anteprojeto. Inicialmente nesta fase será abordada a modelagem tridimensional da máquina que possibilitará o entendimento de cada função bem como seus componentes e um layout geral do equipamento.

A Figura 4 demonstra uma visão geral externa da máquina onde pode ser observada a estrutura da máquina bem como seus principais mecanismos.

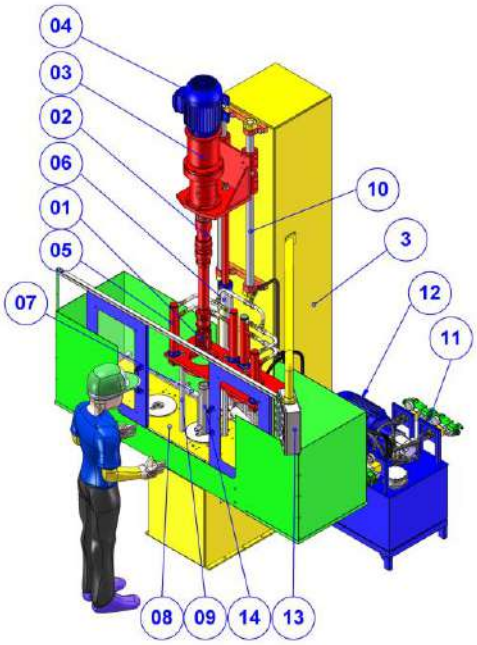



Figura 4. Visão geral de máquina

- 01- Porta ferramenta;
- 02- Cilindro expansor das pedras;
- 03- Caixa redutora de rotação;
- 04- Motor elétrico principal;
- 05- Cilindro prende peça;
- 06- Cilindro vai-vem;
- 07- Cilindro deslocador da mesa;
- 08- Mesa móvel;
- 09- Guia do cilindro prende peça;
- 10- Guia do cilindro vai-vem;
- 11- Unidade hidráulica;
- 12- Motor elétrico da unidade hidráulica;
- 13- Painel de comando;
- 14- Peça para brunir.

O funcionamento da máquina baseia-se em três movimentos básicos: Rotação, movimento vai-vem e expansão das pedras.

O item 3 é a estrutura da máquina, construída com chapa SAE 1020 e servirá como sustentação dos guias, item 10, e suporte para a mesa, item 8, e as demais fixações.

O item 3 é a torre móvel, neste conjunto é acoplado o moto redutor, item 3, o motor elétrico, item 4, juntamente com os suportes de fixação e o cardã que sustenta a porta ferramenta. Na parte traseira será parafusado o conjunto das buchas que serve de guia no movimento sobe-desce.

O item 1 possui a função de expansão das pedras e movimento de rotação. É constituído de um eixo que é acoplado no moto redutor através de um acoplamento de borracha e na outra extremidade acoplada ao cardã com uma junta de engate rápido e pinos. Na parte interna possui um cilindro de dupla ação com diâmetro interno de 25 mm que tem a função de expandir as pedras. A haste do cilindro acopla-se na barra de que transmite a força até o porta-pedra.

O item 10 é o guia da torre, este componente guia a torre nos movimentos vai-vem. Estes guias são fixados na estrutura da máquina através de porca e arruelas de pressão, facilitando a desmontagem se houver manutenção.

O item 6 é denominado cilindro vai-vem. Este cilindro efetua o movimento da torre para cima e para baixo. Com este movimento o porta-pedra, que está fixado no cardã, desloca-se na parte interna da peça a ser brunida.

O item 7 é denominado cilindro deslocador da mesa que atua deslocando a mesa no sentido horizontal que possibilita a troca da peça enquanto a outra fica trabalhando.

O item 9 é denominado suporte dos cilindros da mesa. Possui 4 hastes que são parafusados na mesa da máquina. Cada dupla de suporte dos cilindros possui duas hastes que servem de guia e simultaneamente absorver o torque gerado pelo atrito entre as pedras e a peça a ser brunida, desta maneira a peça não gira.

Cada dupla de cilindros atua independentemente facilitando a troca de peça de maneira diminuir o tempo de troca da peça.

O item 9 é a peça no qual deseja-se brunir. Esta é apoiada, na parte inferior, no gabarito que é substituída de acordo com o diâmetro externo da peça. Na extremidade superior é acoplado um gabarito igual ao inferior. Este gabarito é encaixado na mesa móvel.

## 4. CONCLUSÕES

É importante ressaltar a metodologia empregada, uma vez que seguido o Processo de Desenvolvimento de um Produto de Pahl et al. (2005), torna as etapas de desenvolvimento do produto muito mais claras, facilitando assim a criação e o entendimento do produto em questão. Primeiramente, como parte do esclarecimento e definição metódica da tarefa foi elaborada a lista de requisitos, listando os principais componentes e configurações da brunidora. Em seguida, foi sistematizado a estrutura de funções do projeto, onde essa função resultou em subfunções, as quais foram atribuídas soluções e posteriormente foram avaliadas e por fim selecionada a combinação final.

Realizaram-se os cálculos necessários para o dimensionamento de quase todos os componentes que exigem maior esforço. Outros componentes hidráulicos como válvulas e filtros foram selecionados através de catálogos da Parker (2013). Analisou-se de acordo com a pressão do sistema de 150 bar. Após os cálculos, escolheram-se os componentes que possuem o melhor rendimento, os de fácil aquisição, melhor custo benefício e sobretudo as especificações de acordo com os cálculos realizados. Os componentes selecionados são os que fornecem maior durabilidade com baixo custo de manutenção.

Utilizou-se uma bomba de engrenagem porque é uma bomba que opera em média pressão atingindo picos de 250bar, e possui um ruído baixo se comparado com as de pistões, baixa manutenção e custo benefício. Escolheram-se os cilindros hidráulicos da Rexroth (2013) do tipo soldados devido a facilidade de adquiri-los se comparados com os cilindros da norma SAE. Apresentou-se a força de cada cilindro através de cálculos onde algumas forças ficaram acima do solicitado. Essa diferença se dá através da escolha de cilindros com medidas padrão e fácil de serem adquiridas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Elementos de Máquinas de Shigley. 8° edição, Projeto de Engenharia Mecânica - Richard G. Budynas & J. Keith Nisbett, 2011.

MARVIN, R. Achieving Maximum Effectiveness with Single-Pass Superabrasive Bore Finishing. Society of Manufacturing Engineers. International Honing Clinic. 22 p., 1994

PAHL, et al. Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PARKER. Produtos Hidráulicos, 2013. Disponivel em: www.parker.com. Acesso em: 01 Setembro 2013.

REXROTH Bosh. Produtos Hidráulicos, 2013. Disponivel em: www.boschrexroth.com. Acesso em: 06 Outubro 2013.

## 6. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE HIDRÁULICA PARA TESTE DE BOMBAS DE ENGRENAGENS E CILINDROS HIDRÁULICOS

**Guilherme Regner Nava**
**Rafael Franciozi Parizotto**
**Leandro Dóro Tagliari**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
142726@upf.br; 142806@upf.br; leandrotagliari@upf.br; mwalber@upf.br.

***Resumo:*** *O seguinte estudo apresenta o projeto de uma bancada didática para teste de bombas e cilindros hidráulicos onde também é possível realizar ensaios de medição de viscosidade com instrumentos específicos. Primeiramente realizou-se um estudo entre as metodologias de projeto para ver qual se adequa melhor ao trabalho. Depois de identificada a melhor metodologia, a mesma foi aplicada para o desenvolvimento do esboço do projeto técnico. Serão calculados e dimensionados tubulações, motores, válvulas e bombas, necessários para a confecção do produto. Um dos preceitos deste projeto foi conseguir adaptar o máximo de materiais disponíveis na universidade, para que a construção da bancada seja viável. As informações coletadas com o desenvolvimento da bancada são de grande importância na resolução de problemas relacionados a hidráulica e a manutenção industrial.*

***Palavras chave:*** *Bancada didática. Sistemas hidráulicos. Bombas hidráulicas. Cilindros hidráulicos. Medição de viscosidade.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura do cenário acadêmico do século XXI, cada vez mais as pessoas estão conectadas a inúmeras formas de aprendizagem e conhecimento, fazendo com que assim, haja um grande crescimento de conceitos, teorias e afirmações já provadas sobre assuntos no campo acadêmico, impelindo os estudantes a relacionarem o que foi aprendido na teoria através de aulas e pesquisas, e comprovarem em estudos práticos, conciliando desta forma, conhecimentos.

Buscando uma ligação direta com o dia a dia de profissionais da engenharia no geral, existem diversos estudos direcionados a aulas práticas em conjunto a laboratórios, bancadas didáticas, máquinas, ferramentas, aparelhos metrológicos, dentre outros, com a finalidade de um melhor aproveitamento tal como tecnologias mais avançadas e novos usos dos referidos.

A partir da concepção de aplicar de forma prática os conteúdos estudados em sala de aula, o tema do presente trabalho foi determinado como projeto de uma bancada didática de hidráulica para teste de bombas de engrenagem e cilindros hidráulicos.

As bancadas de teste tornaram-se uma base importante para atividades de estudo e pesquisa, tendo em vista que a engenharia sempre necessitou testar conceitos e aplicações em escala reduzida nas mais diversas áreas. Várias universidades em seus cursos e empresas nas suas linhas de produção tem se empenhado em desenvolver bancadas didáticas. Elas fornecem aos alunos o esclarecimento de conceitos importantes, assim como sua análise, facilitando o entendimento e aprendizagem.

Como a hidráulica tem um grande campo de atuação, torna-se de certo modo difícil o dimensionamento eficaz de um sistema. Além do mais, podem ser montadas bancadas de diversos modelos e tamanhos, sendo construída através da perspectiva de quem irá fazer o seu dimensionamento.

O que acarreta na construção da bancada é também o fator do orçamento, visto que devem ser aproveitados os recursos que a própria faculdade possui, para reduzir seu custo ao máximo possível. Junto a isto, fazer com que o projeto final esteja a um custo acessível, para que seja possível a sua construção no futuro.

Os engenheiros de qualquer especialidade devem compreender como funcionam os sistemas hidráulicos e o que eles refletem para a indústria. Esses sistemas têm facilitado muito na questão de movimentos, transmissão e controle de esforços. Por isso, tem se a necessidade de projetar e dimensionar corretamente o sistema hidráulico, para que este seja

capaz de suprir as necessidades básicas de trabalho e opere de forma segura e eficaz, sempre resguardando pela segurança para que seja evitado qualquer tipo de acidente.

### 1.1 Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento do projeto de uma bancada didática de hidráulica para realizar teste de funcionalidade em bombas de engrenagens, cilindros hidráulicos e mensurar a viscosidade do fluído hidráulico. Para a realização do objetivo geral é necessário a realização de três partes específicas que são:

- Caracterizar os componentes necessários para a sua construção;
- Avaliar as metodologias para o desenvolvimento da bancada;
- Aplicar a técnica de projeto conceitual e desenvolver projeto para sua confecção;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a confecção do projeto, deve-se ter um bom conhecimento em todos os aspectos que serão abordados durante o desenvolvimento. No presente trabalho, as referências usadas estão disponíveis a seguir.

### 2.1 Métodos de Projeto Conceitual

Com a velocidade e a dinâmica imposta pelo mercado, há uma necessidade de se dominar várias formas e métodos que envolvem o desenvolvimento de um produto, alternativas estas que visam solucionar problemas de design, atendendo além das necessidades do cliente (MELLO, 2011; PLATCHECK, 2003).

O trabalho do designer industrial consiste em encontrar uma solução, a qual deve ser projeto de produto industrial com características que satisfaçam as necessidades humanas de forma duradoura (MELLO, 2011, KOWALTOWSKI, 2011).

Considera-se o processo de design como um processo criativo e/ou para solucionar um problema de um projeto industrial, incorporando características que satisfaçam as necessidades humanas forma duradoura (MELLO, 2011).

Segundo Larica (2003), a essência do bom design é a adequação à proposta apresentada no *briefing* do projeto, a criatividade das formas, a viabilidade, construtiva e a manutenção da identidade da marca.

Assim, o design compreende "a concretização de uma ideia em forma de projetos ou modelos, mediante a construção e configuração resultando em um produto industrial passível de produção em série" (LOBACH, 2000, p.16).

O design possibilita através de inovações e tecnologias, elaborar objetos que oportunizem através da harmonização, integrar fatores que possibilitem sua metodologia projetual (GOMES FILHO, 2003).

Demarchi (2002) em seu levantamento de todas as estratégias propostas por teóricos da inovação, observa que o design é escassamente considerado, como elemento de uma estratégia, ou melhor, como sendo uma estratégia fundamental para o sucesso de uma empresa.

O design encontra neste contexto, maior possibilidade de desenvolver suas potencialidades junto às outras áreas, como os setores de produção, da engenharia, do marketing, o setor comercial e setor de distribuição. Portanto, para que o design se desenvolva dentro da empresa, o ambiente deve permitir uma integração organizacional (DEMARCHI, 2002).

O designer industrial geralmente trabalha em equipe com outros profissionais dentro da empresa. Como configurador ele não tem influência em decisões fundamentais (LOBACH, 2000).

Lobach propõe um caráter cartesiano, estruturalista e racionalista no desenvolvimento do processo de seus produtos, desenvolvendo-os através de setorização por etapas, defendendo uma preocupação mais cuidadosa com a demanda do projeto, subdividindo em conhecimento do problema, coleta e análise de informações. Estabelece uma relação cliente e projetista, sendo fundamental para o desenvolvimento do produto, contudo a comunicação nem sempre é direta (OLIVEIRA, 2016; LOBACH, 2009; LAWSON, 2011).

Löbach dividiu o processo em quatro etapas:
(I) analisar o problema de design;
(II) desenvolver alternativas;
(III) avaliar as alternativas desenvolvidas;
(IV) realizar a solução do problema (MELLO, 2011).

Apesar de seu caráter racional e linear, este método foi muito importante para muitas gerações de designers.

Um método a ser destacado também é a de Pahl e Beitz, os quais desenvolveram em 1971, uma metodologia composta por fases interligadas. Na Fase 1 é importante especificar as tarefas e elaborar as especificações de projeto. Na fase 2 - chamada de projeto conceitual - é feita a identificação do problema, estabelecimento da estrutura de funções, pesquisa por princípios de soluções, combinação de variantes de soluções, e a avaliação segundo critérios técnicos e econômicos. A fase 3 – o projeto preliminar - consiste no desenvolvimento de leiautes, refinamento e avaliação sob critérios técnicos, e por fim a fase 4 – o projeto detalhado - na qual são feitos os desenhos e documentos para a

produção. Era importante nessa época uma especificação detalhada das fases construtivas do produto (VICENTINI, 2010).

O projeto conceitual caminha contra as lógicas convencionais de produção, permitindo ao designer maior liberdade criativa, levando em conta que no projeto conceitual o designer não se restringe a valores comerciais.

Na opinião de Gomes Filho (2006, p. 24) o significado de design conceitual, em outra acepção, "caracteriza-se a outras ideias e reflexões que se fazem por meio das diversas investigações e analogias extraídas ou derivadas de outras áreas de conhecimento". Ainda para o autor, o design conceitual tem a necessidade de desenvolver produtos cujas características foram notadas devido ao fato de serem mais teóricas, politizadas (sobretudo contestadoras) e experimentais, geralmente com propostas e projeções utópicas. Entende-se disso, que o design conceitual pode fazer analogias com outras áreas de conhecimento (GOMES FILHO, 2006).

Sobre o projeto conceitual, Baxter (2011) ainda lembra que este projeto se propõe a desenvolver as linhas básicas da empresa e função do produto, visando produzir um conjunto de princípios funcionais de estilo. Para o sucesso do projeto conceitual existem dois conceitos simples, fazer o possível para gerar a quantidade máxima de conceitos e depois disso, escolher o melhor entre eles. Por trás de processos conceituais bem-sucedidos, podem ser encontrados muitos rascunhos de conceitos recusados, provando que houve muita busca de soluções inovadoras. Essa busca segue o mesmo caminho dos princípios gerais da criatividade.

Os produtos devem ser desenvolvidos com a intenção de gerar emoções e transmitir certos sentimentos ao observador, o design conceitual tem grande capacidade quanto a isto, devido a métodos utilizados no desenvolvimento que possibilitam a geração de distintas formas incomuns e inusitadas que o design conceitual pode proporcionar.

De acordo com Baxter (2011) os produtos criados com princípios do design conceitual podem adquirir vários tipos de estilo, segundo um método bem estruturado, que passa por análise de estilo de vida dos consumidores, expressão e tema atual visual do produto. Enfim, é desenvolvida uma vasta pesquisa para compreensão de quais detalhes devem estar expressos no produto, para que desta forma ele seja capaz de transmitir satisfação.

O design efetivo ou conclusivo é o que se manifesta por meio de um efeito real positivo, inspira confiança e atinge os objetivos embutidos na sua proposta. É o design criativo que abre novos caminhos estéticos sem a sombra da inviabilidade construtiva. É o bom design que inspira novas criações e novos rumos (LARICA, 2003, p.101).

Estes produtos industriais são "objetos fabricados em larga escala para a satisfação de necessidades, em cujo desenvolvimento o designer industrial participa ativamente" (LOBACH, 2000, p.28).

Alcançando um grau de desenvolvimento, o fabricante tem a venda garantida do produto, possibilitando garantir a continuidade do crescimento econômico (LOBACH, 2000).

### 2.2 Bancadas Didáticas

Bancadas didáticas são ferramentas que auxiliam aos operadores montar sistemas variando seus parâmetros e, por conseguinte, possibilitando a familiarização com os componentes (GIORDANI; JURACH; RODRIGUES, 2003).



Figura 1: Bancada didática.

As bancadas permitem aos alunos através de aulas práticas, comprovar o experimento, o qual proporcionará conhecimento, instigando-o ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de outros projetos. O desenvolvimento de uma bancada didática possibilita evoluir com os conceitos, através da customização e modularização das funcionalidades e experimentos (SCHNEIDER, 2003).

O uso desse espaço de aprendizado não serve somente para fins didáticos. Promover o incentivo à pesquisa, através de inovações tecnológicas é um dos papeis que a Universidade deve propiciar ao acadêmico também, bem como disponibilizar recursos para o fomento da pesquisa (PEKELMAN; MELLO, 2004).

### 2.3 Bombas Hidáulicas de Engrenagem

Entende-se por bomba hidráulica como um mecanismo que visa transformar a energia mecânica em energia hidráulica, gerando vazão ao sistema e acionando os atuadores, não apresentando influência da velocidade do fluído, da

massa ou da inércia do eixo de acionamento (PALMIERI, 1997; LINSINGEN, 2003). A figura 2 ilustra uma bomba hidráulica de engrenagens.



Figura 2: Bomba de engrenagem.

A bomba hidráulica deve fornecer uma quantidade de energia total específica (por unidade de peso) igual à variação de altura manométrica total da água (entre as condições inicial e final) somada às perdas de carga na tubulação (JACUZZI DO BRASIL, 2005).

As bombas de engrenamento são constituídas por um par de engrenagens acopladas, que desenvolve o fluxo transportando o fluído entre seus dentes. As engrenagens são montadas em uma carcaça com placas laterais (chamadas placas de desgaste ou pressão), girando em sentidos contrários, criando um vácuo parcial na entrada da bomba. No vão dos dentes é introduzido um fluído. Ao se engrenarem novamente, os dentes forçam o fluído para a abertura de saída (FIALHO, 2002; MOREIRA, 2012).

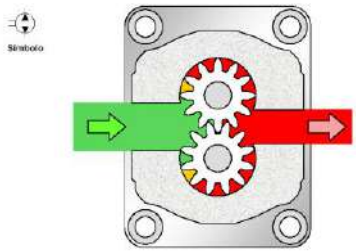


Figura 3: Bomba de engrenagem de dentes externos.

Este tipo de bomba normalmente, utilizado em sistemas de altas pressões (até 210 bar) e baixas/médias vazões (de até 660 l/min) (PALMIERI, 1997).

### 2.4 Cilíndros Hidráulicos

Os cilindros hidráulicos geralmente possuem uma carcaça tubular conhecida como camisa, duas conexões para permitir a entrada e a saída do óleo, um êmbolo com anéis e uma haste cilíndrica (MOREIRA, 2012).

No momento em que o óleo adentra pela camisa e pressiona o êmbolo, empurrando-o, sua haste se estende e faz o cilindro funcionar (ANDERLE, 2017).

Um cilindro em um esquema hidráulico tem a função de transformar a energia hidráulica em mecânica. Existem diversos tipos de cilindros hidráulicos, destacando-se os de tipo simples ação, dupla ação e os telescópicos.

Os cilindros de simples ação são movimentados pela ação do óleo em um sentido, já o movimento contrário é realizado por uma força mecânica. Todavia, os de dupla ação, tem entradas em cada extremidade, possibilitando movimentar o óleo de avanço e de retorno (ANDERLE, 2017; MOREIRA, 2012).

Nos cilindros de dupla ação e haste dupla com o mesmo diâmetro (cilindros simétricos), as forças de atuação e velocidades são iguais para carga e vazão de suprimento constantes em ambos os sentidos do movimento, sendo que a melhor característica está vinculada à igualdade na perda de carga e forças de escoamento em ambas as direções do escoamento (simetria do escoamento) (LINSINGEN, 2008).

Porém, devido à falta de espaço para fixação de cilindros de haste dupla simétricos, utilizam-se cilindros de dupla ação assimétricos de haste simples com válvulas direcionais assimétricas ou compensações para tentar eliminar o efeito da assimetria das áreas (PEREIRA, 2006; VIRVALO, 2001).

Na figura 4, segue um comparativo entre os tipos de cilindros citados anteriormente.

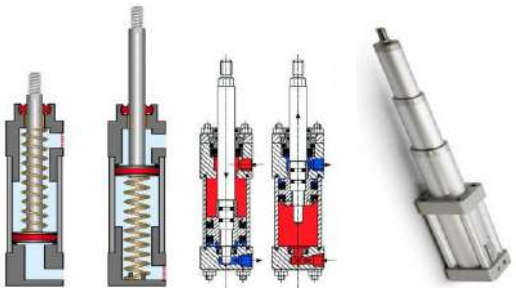


Figura 4: Comparativo entre os tipos de cilindros hidráulicos.

Para o dimensionamento do cilindro, não se leva em consideração a força que ele deverá executar, pois se trata de uma bancada didática e o seu intuito é apenas o entendimento do sistema hidráulico.

### 2.5 Viscosímetros

O viscosímetro é um equipamento utilizado para medir a viscosidade dos fluídos, a qual varia de acordo com as condições de fluxo, sendo utilizado o reômetro para medir (VICENTINI, 2010; SZPAK, 2008).

Os viscosímetros podem ser classificados em: primários (medem diretamente os valores das tensões de cisalhamento do fluído e a sua taxa de deformação; e, os secundários (inferem indiretamente através da tensão da tensão de cisalhamento e a taxa de deformação do fluído) (SANTOS JÚNIOR, FERREIRA, 2008).

#### 2.5.1 Viscosímetro de Orifício

O viscosímetro copo Ford é utilizado industrialmente, para determinar a viscosidade em tintas, óleos, entre outros. É um conjunto de orifícios-padrão feitos de bronze polido, sendo que a viscosidade é medida do tempo gasto para esvaziar o reservatório (o "copo"). Segue o padrão das Normas Técnicas ASTM D1200 e ABNT NBR5849. (COMIN et al, 2012).



Figura 5: Viscosímetro de orfício.

#### 2.5.2 Viscosímetro de Esfera

No viscosímetro de esfera, mede-se a velocidade de queda de uma esfera dentro de um líquido colocado em um cilindro vertical de vidro, sendo que g, D, $\rho_s$, $\rho_f$ e V são, respectivamente, a aceleração da gravidade, o diâmetro da esfera, a densidade da esfera, a densidade do fluído e a velocidade terminal de queda livre (FUMACHI, 2017).

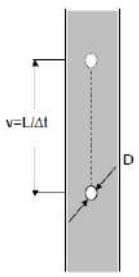



Figura 6: Viscosímetro de esfera.

## 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para Löbach (2001, pág. 141) todo o processo de design é tanto um processo criativo como um processo de solução. Como o processo de design pode se desenvolver de forma extremamente complexa, seria útil dividi-lo em três fases distintas, mas que se entrelaçam umas às outras com avanços e retrocessos, que são chamadas de: fase de preparação, fase de geração e fase de avaliação.

### 3.1 Fase de Preparação

Nesta pesquisa, pretende-se construir um produto para acadêmicos que cursam disciplinas de hidráulica em geral. Ele será instalado dentro de um laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos, onde se tem um maior controle com a limpeza para que não acha contaminação no óleo do sistema.

#### 3.1.1 Análise de Mercado

| Análise de mercado | PRODUTO 1 | PRODUTO 2 |
|---|---|---|
| **Nome do produto:** | PR1006 | CTMB-01 |
| **Preço médio:** | R$ 77250,00 | R$ 105900,00 |
| **Altura (m)** | 1,5 | 1 |
| **Largura (m)** | 1,95 | 1,5 |
| **Profundidade (m)** | 0,8 | 0,8 |
| **Fabricante** | WebLabor | SOMA |
| **Público alvo** | Acadêmicos e indústria em geral | |
| **Data de criação** | - | - |

Quadro 1: Análise de Mercado.

#### 3.1.2 Análise de Função

Método utilizado para estruturar as características técnicas funcionais de um produto, que podem ser observadas por meio de suas qualidades e defeitos.

| Análise de função | PRODUTO 1 | PRODUTO 2 |
|---|---|---|
| **Função Principal** | Realizar experimentos em bombas hidráulicas | |
| **Função Secundária** | Diagrama hidráulico e esquema elétrico completo | Diagnóstico de falhas e procedimentos de manutenção |
| **Função dos componentes** | | |
| **Bomba hidráulica** | Bombear óleo hidráulico para o sistema | |
| **Motor elétrico** | Responsável por transformar energia elétrica em mecânica | |
| **Válv. Reg de vazão** | Válvula que controla a vazão no sistema | |
| **Válv. Reg de pressão** | Válvula que controla a pressão no sistema | |
| **Válvula direcional** | Direcionar o sentido de fluxo atendendo a necessidade do circuito | |
| **Filtro** | Reter diversas partículas e impurezas existentes no circuito | |
| **Fluído hidráulico** | Meio de transmissão de energia | |

Quadro 2: Análise de função.

### 3.1.3 Análise Estrutural

Como é um sistema hidráulico didático, construído para demonstração de funcionamento. Ele não necessita de análise estrutural, já que não terá grandes esforços em seus componentes.

### 3.1.4 Análise dos Materiais e Processos de Fabricação

Estudo dos tipos de materiais empregados na categoria do produto a ser projetado e seus processos de confecção.

| Análise dos materiais e processos de fabricação | PRODUTO 1 | PRODUTO 2 |
|---|---|---|
| **Reservatório** | Em aço carbono pintado com pintura eletrostática | Não informado pelo fabricante |
| **Bomba hidráulica** | Não informado pelo fabricante | |
| **Motor elétrico** | Não informado pelo fabricante | |
| **Válv. Reg. de vazão** | Não informado pelo fabricante | |
| **Válv. Reg. de pressão** | Não informado pelo fabricante | |
| **Válvula direcional** | Não informado pelo fabricante | |
| **Filtro** | Não informado pelo fabricante | |
| **Fluído hidráulico** | Não informado pelo fabricante | |
| **Estrutura** | Construída em perfil de aço carbono com pintura eletrostática sobre rodízios | Não informado pelo fabricante |

Quadro 3: Análise dos materiais e processos de fabricação.

### 3.1.5 Análise das Configurações

A bancada didática PR1006 (WebLabor) para o estudo de bombas hidráulicas é uma unidade autônoma projetada para realizar experimentos em diferentes bombas hidráulicas visando levantar e comparar curvas de modelos de bombas. Do mesmo modo a bancada CTMB-01 (SOMA) além de levantar as curvas das bombas, apresenta um diagnóstico de falhas e procedimentos de manutenção.

### 3.1.6 Características do Novo Produto

O teste de bombas e cilindros, em conjunto com a medição de viscosidade é a principal característica do novo produto. Grande parte dos componentes serão reutilizados a partir de uma unidade hidráulica já construída, que são: reservatório, motor elétrico, manômetro, cilindro e válvulas. A bancada tem acionamento manual, pois será usado uma válvula direcional manual P40 com 2 estágios para a bomba e também para o cilindro.

O produto terá algumas características fundamentais, extraídas de todas as análises anteriores, principalmente relacionadas as necessidades dos alunos.

## 3.2 Fase de Geração de Ideias

Para solucionar o problema proposto neste trabalho, foi utilizado o método da tentativa e erro. Foram colocados no papel, sem medo de estarem certas ou erradas, todas as possibilidades para a construção da bancada didática de hidráulica com os requisitos da pesquisa.

A nova bancada didática de hidráulica terá uma estrutura tubular, reservatório de óleo, motor elétrico, bomba e cilindro hidráulico, válvula direcional, válvula reguladora de pressão, válvula reguladora de vazão, filtro de óleo, manômetro e área para o teste de cilindro e bomba hidráulica.

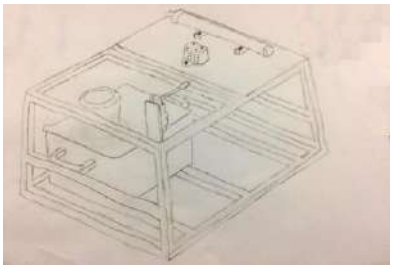


Figura 7: Esboço da bancada hidráulica.

Procurou-se, durante todo o processo, estabelecer relações semióticas com várias ideias relacionadas ao tema.

### 3.3 Apresentação e Análise dos resultados

Para o início do dimensionamento da bancada didática de hidráulica, alguns valores já haviam sido definidos visto que foi utilizado uma unidade hidráulica usada que não estava mais em funcionamento, sendo assim o volume do reservatório e a potência do motor elétrico, são definidos com 50 litros e 5 CV, respectivamente.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o tema do trabalho, os resultados do estudo proposto estão relacionados com o desenvolvimento completo do projeto para possível construção futura na universidade. A adição da bancada irá aumentar as oportunidades de estudos práticos e execução de experiências, o que gera melhorias na qualidade no ensino das matérias ligadas à hidráulica em geral.

### 4.1 Bancada Didática de Hidráulica

A bancada desenvolvida é estruturada por tubos retangulares de aço estrutural, estas todas soldadas, formando uma estrutura rígida e com boa aparência física. Abaixo será apresentado um quadro comparativo com os valores da unidade hidráulica da UPF e os calculados/dimensionados no trabalho.

| Componentes | UPF | Calculados | Atende a necessidade | Valor aproximado |
|---|---|---|---|---|
| Reservatório | 50 litros | 50 litros | Ok | R$ 700,00 |
| Motor elétrico | 5 cv | 3 cv | Ok | R$ 835,00 |
| Cilindro hidráulico | 3" x 400 | 2" x 250 | Ok | R$ 1.200,00 |
| Bomba hidráulica | - | 11 $cm^3$/rev. | - | R$ 1.300,00 |
| Filtro | - | Alta pressão 15P/30P | - | R$ 350,00 |
| Válvula direcional | - | P40 | - | R$ 320,00 |
| Válvula reguladora de pressão | - | PRV-1 | - | R$ 280,00 |
| Válvula reguladora de vazão | - | VFC-1 | - | R$ 290,00 |
| Manômetro | - | - | Ok | R$ 175,00 |
| Mangueiras hidráulicas | - | Pressão:9,5mm Sucção:19,1mm Retorno:12,7mm | - | R$ 200,00 |
| Fluído hidráulico | - | SAE 30 | - | R$ 1.500,00 |
| Viscosímetro | Orifício | - | Ok | - |

Quadro 4: Requisitos da bancada didática de hidráulica.

A unidade hidráulica que será usada para a construção da bancada didática pode ser visualizada na figura 8.



Figura 8: Unidade hidráulica utilizada.

Com o objetivo de facilitar a locomoção, a bancada apresenta rodas articuladas. Para evitar sujeiras e contaminações no ambiente de trabalho do laboratório, a bancada apresenta na sua parte inferior uma bandeja, com dimensões de 30 mm de altura, 480 mm de largura e 780 mm de comprimento. Esta bandeja será responsável pelo armazenamento temporário do fluido que escoa do sistema durante as trocas de mangueiras e outros possíveis vazamentos durante a execução de experimentos. Com o objetivo de facilitar os experimentos, todas as mangueiras apresentam engate rápido junto as conexões.

### 4.2 Funcionamento

Para dar início aos trabalhos práticos com a bancada desenvolvida, a mesma deve estar conectada na rede trifásica, com tensão de 380V. A partida é feita pressionando o botão verde (ligar) presente na caixa elétrica da bancada. A partir disso, será acionado o motor elétrico (A) presente no sistema, que por uma transmissão via polias e correia, irá fazer com que a bomba hidráulica (B) trabalhe.

A partir do funcionamento da bomba hidráulica, o fluido presente no reservatório irá circular no sistema com passagem livre pela válvula direcional (C) e retorna ao reservatório (D) sem pressão. Para que o fluido circule livremente, estão presentes mangueiras com engates rápidos, facilitando na hora da troca.

Para que todo o sistema esteja seguro, quando algum dos atuadores chega ao final de seu curso, a válvula reguladora de pressão (E) entra em funcionamento, dá-se alívio ao sistema abrindo passagem ao excesso do fluido, com retorno livre ao reservatório. Na figura 9, pode ser visualizado o projeto da bancada didática de hidráulica com os componentes descritos.

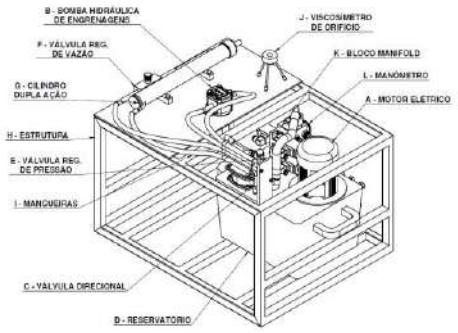



Figura 9: Projeto da bancada didática de hidráulica.

Durante esses testes, os manômetros da bancada indicam a pressão em que o sistema está operando, estas ajustadas manualmente em uma válvula reguladora de pressão localizada no conjunto de válvulas direcionais, que variam de 0 á 200 kfg/cm² em todo o circuito desenvolvido.

## 5. CONCLUSÕES

O trabalho realizado teve como finalidade o desenvolvimento do projeto de uma bancada didática de hidráulica a partir de uma unidade hidráulica usada, com o devido dimensionamento dos itens que serão empregados nela, para que esta seja no futuro um instrumento de estudo para os acadêmicos da instituição.

Primeiramente foram estudas e posteriormente avaliadas as metodologias para o desenvolvimento da bancada, na qual foi selecionada a de Lobach devido a sua grande eficiência.

Em seguida, foi calculado e dimensionado todos os itens do sistema hidráulico para a confecção da bancada. Com esses dados foi possível selecionar os componentes adequados, que foram repassados ao setor de compras da UPF para posterior aquisição.

Visto também, que a redução no custo é um fator fundamental para o avanço do projeto, por consequência buscou-se o máximo possível de recursos disponíveis na UPF, em que conseguiram-se aproveitar, a estrutura de uma unidade hidráulica já usada e também alguns componentes presentes nesta bancada, conseguindo fazer uma redução significantes com relação as bancadas comerciais existentes.

Este projeto aumentou o senso de engenharia, em que se tem uma necessidade, no caso a bancada didática de hidráulica, e por meio disto, buscou-se as referências necessárias, fez-se os cálculos para dimensionar os componentes e buscou-se no mercado, os componentes que atendem a tal necessidade.

Assim, o dimensionamento da bancada didática de hidráulica se mostrou válida, podendo ser construída em benefício da UPF, visto que esta bancada atenderá as condições necessárias para realizar os testes e entender o seu funcionamento do sistema hidráulico.

Além da UPF ter mais uma bancada em perfeito funcionamento, o desenvolvimento de uma nova irá alavancar o interesse de acadêmicos em desenvolverem suas próprias bancadas e/ou experimentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.G.; TAVELLA, L. B.; FERREIRA, J.B.; ARAÚJO, M.L.; ARAÚJO, J.M. Potencial fungitóxico dos óleos de murmuru (*Astrocaryum ulei* Mart.) e coco (*Cocos nucifera* L.) sobre *Colletotrichum gloeosporioides* no maracujá. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.19; p. 1522, 2014.

ANDERLE, B. P. **Dimensionamento de uma bancada didática de hidráulica.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2017.

BAXTER, M. **Projeto de produto:** guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

GALLO, M. S. **Aplicação da metodologia de análise do valor ao projeto conceitual de uma maca de banho hospitalar.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). Departamento de Engenharia Mecânica (SEM), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

GIORDANI, R.E.; JURACH, P.J.; RODRIGUES, M. J. **Bancada didática de pneumática**, CEFET - RS, 2003.

JACUZZI DO BRASIL. **Noções de hidráulica e mecânica dos fluídos**, 2005.

KOWALTOWSKI, D. **Arquitetura escolar:** o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LINSINGEN. I. V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos.** Florianópolis, 2003.

LÖBACH, B. **Design industrial:** bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.

MELLO, W.B. **Proposta de um método aberto de projeção de produto** – Três alternativas de criação. 2011. Dissertação, Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, G. R. **Método de design de interiores no Brasil:** uma contribuição dos princípios da ergonomia do ambiente construído. 2016.

PARKER. **Fluid Connectors Alta pressão Condensado**. Disponível em: <http://www.parker.com/parkerimages/br/download/fluidconnectors/pdf/3_tfd_eo/cat/catalogo_alta_pressao_cond_4403_br.pdf>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

PEKELMAN, H.; MELLO Jr. A.G. **A importância dos laboratórios no ensino de Engenharia Mecânica.** Disponível em: <http://www.abenge.org.br/Cobenge Anteriores/2004/artigos/01_219.pdf>. Acesso em: 8 out. 2015.

PEREIRA, P.I.I. **Análise teórico-experimental de controladores para sistemas hidráulicos.** 2006. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SCHNEIDER, P. S. **Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos.** Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SILVA, G.C.; OLIVEIRA, M.G. **Dimensionamento de queimador de óleo lubrificante usado.** 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

VICENTINI, C. R. G. **Ferramentas e metodologia de projeto aplicados na criação de produtos para a indústria têxtil-confecção.** Campinas, SP: [s.n.], 2010.

VIRVALO, T. **PI and PID controllers in a hydraulic position servo system** – what it is all about. ICFP 2001 - Fifth International Conference on Fluid Power Transmission and Control, Hangzhou. China, 2001.

CONIGTI
4rd International Congress of Management, Technology and Innovation
October, 1st- 06, 2018 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# MACACO HIDRÁULICO PARA ELEVAÇÃO E TRANSPORTE DE PNEUS

**Darlei Mezzomo**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
135120@upf.br mwalber@upf.br:

***Resumo.*** *A cada dia que passa a área agrícola se reinventa, com o grande crescimento do agronegócio, com novas tecnologias e máquinas cada vez maiores. Em contrapartida, a mão de obra se torna cada vez mais escassa, principalmente a especializada, dificultando nos trabalhos em que ela se faz necessária, como por exemplo, em trocas ou retiradas para conserto de pneus destas máquinas, tornando difícil seu manuseio. O presente trabalho, através de uma metodologia de projeto procurou desenvolver o estudo de um equipamento tendo como finalidade permitir maior agilidade e segurança durante a realização desta tarefa. Foi projetado um equipamento com um modelamento diferente aos encontrados no mercado, buscando simplificação do seu funcionamento e menor valor de fabricação. Foi empregado um macaco hidráulico modelo garrafa para ser o responsável pela elevação do rodado, sendo feita uma estrutura de tubos de aço A36, suportada por rodinhas para ser possível o deslocamento do equipamento juntamente com o rodado, este apoiado sobre roletes que permitem o seu giro. Os cálculos de dimensionamento foram feitos para uma capacidade de elevação máxima de 1780 kg, tendo como auxilio o acesso a catálogos de fabricantes para definição de componentes da estrutura, sendo definido as rodinhas de apoio, roletes de sustentação do rodado e as dimensões do tubo da estrutura.*

***Palavras Chave:*** *Rodado, manutenção, elevação hidráulica;*

## 1. INTRODUÇÃO

O grande segredo do sucesso do agronegócio se deve as novas tecnologias, onde através de planejamento e avanços tecnológicos fez a produção do país aumentar consideravelmente nos últimos anos, mas em contrapartida, a mão de obra no meio rural se torna cada vez mais escassa, principalmente a mão de obra especializada.

A chegada dessas novas tecnologias e o aumento da produção no setor agrícola, fez com que as máquinas deste setor sejam cada vez maiores e pesadas. Consequentemente os rodados e os pneus agrícolas também cresceram em tamanho e peso.

O processo de retirada dos pneus das máquinas tanto para conserto como para trocas é um trabalho pesado e exige cuidados, pois é feito manualmente exigindo um grande esforço físico (o rodado de uma máquina de grande porte pode pesar até 1500 quilogramas), sendo um trabalho de grande risco. A retirada destes pneus exige no mínimo duas pessoas e muitas vezes em locais com condições adversas, tornando-se um trabalho difícil e desgastante.

Neste contexto, surge a ideia do desenvolvimento de um equipamento que se adapte às necessidades de retirada destes pneus, tendo como objetivo a diminuição das pessoas envolvidas no trabalho, assim como a diminuição do tempo de serviço, podendo assim ser usado tanto em uma oficina como equipamento diário de trabalho, ou ser adquirido pelos próprios proprietários das máquinas, como um equipamento auxiliar no momento da manutenção.

Quanto ao desenvolvimento do equipamento, foram analisados e pesquisados produtos existentes que atendam essa necessidade. No mercado foram encontrados apenas quatro equipamentos. Dos modelos brasileiros encontrados um é voltado para pneus do ramo rodoviário, ou seja, pneus de menor diâmetro e o outro é voltado para o setor agrícola, mas com preço elevado. Por este motivo, desenvolveu-se um produto de menor custo, com um simples sistema hidráulico que possibilite a elevação, transporte e giro do pneu, este último indispensável na hora de encaixe da roda no cubo da máquina, sendo possível a realização desta tarefa com segurança e agilidade.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capitulo será dado início ao desenvolvimento do projeto do equipamento, sendo dividido em 3 fases que são elas: Estudo de viabilidade, projeto conceitual e detalhamento. A seguir, na figura 1, temos um fluxograma com as fases do desenvolvimento do equipamento.

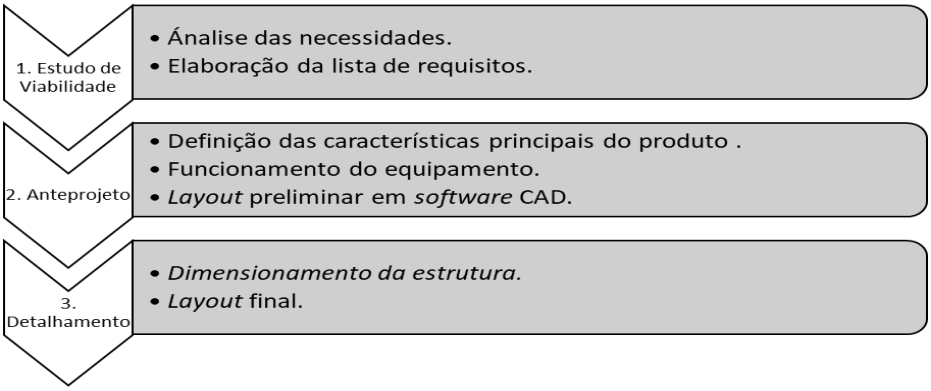



Figura 1 - Fluxograma com as fases do desenvolvimento

### 2.1 Estudo de viabilidade

Nesta primeira fase será feito o estudo da viabilidade do equipamento. Antes de ser feito qualquer desenho, devem ser deixadas bem claras as características que ele deve ter, e quais são as mais importantes, assim como as necessidades que o equipamento deve suprir, sendo desta forma elaborada a lista de requisitos, onde irão constar todas as especificações do produto determinantes para a solução, e se possível será feita indicações quantitativas. Cada requisito será avaliado pelo grau de importância, sendo uma exigência ou desejo. A seguir temos a lista de requisitos descrita na tabela 1.

Tabela 1: Lista de requisitos do equipamento

| DATA | E/D | REQUISITOS |
|---|---|---|
| | | 1. Principais características |
| **25/05/2018** | E | Sistema hidráulico manual para a elevação do rodado. |
| **25/05/2018** | D | Compatível com pneus de diâmetro ente Ø1826 - Ø1020mm. |
| **25/05/2018** | E | Possibilidade de deslocamento do rodado. |
| **25/05/2018** | D | Rodas com diâmetro superior a Ø150mm para facilitar o deslocamento. |
| | | 2. Geometria |
| **25/05/2018** | E | Possuir manetas para facilitar deslocamento. |
| **25/05/2018** | E | Estrutura dimensionada para 1820 kg. |
| **25/05/2018** | D | Encaixes soldados ou emparafusados |
| **25/05/2018** | D | Estrutura de tubos ou perfil dobrados. |
| | | 3. Material |
| **25/05/2018** | D | Material de boa soldabilidade e preço relativamente baixo. |
| | | 4. Segurança |
| **25/05/2018** | D | Sistema de abraçamento do pneu ajustável. |
| | | 5. Ergonomia |
| **25/05/2018** | E | Possibilidade de giro do pneu após o mesmo ser elevado. |
| | | 7. Operação |
| **25/05/2018** | D | Evitar choques violentos durante a operação. |
| **25/05/2018** | E | Não exceder a capacidade máxima de levante |

Conforme a lista de requisitos, o sistema de elevação do equipamento será disposto por um macaco hidráulico com acionamento manual modelo garrafa, o qual é facilmente encontrado no mercado e possui preço de comercialização baixo. Como pré-definido na revisão bibliográfica, a faixa de diâmetro de pneus que o equipamento será projetado é de 1048 mm a 1819 mm, sendo a faixa de pneus mais usada na linha R1 (ver quadro 1). O equipamento deverá ser sustentado por rodas, possibilitando o deslocamento do rodado pelo espaço de trabalho, sendo que as rodas devem possuir diâmetro de no mínimo 150 mm, para facilitar o rolamento por terrenos irregulares.

Em relação à geometria do equipamento, a estrutura deve possui manetas de apoio para servirem de auxílio no deslocamento e ser dimensionada para capacidade de levante de 1820 kg, sendo fabricada por perfil de tubos retangulares ou perfil dobrado, de fácil acesso no mercado e de menores preços. O material dos perfis deverá ser de boa soldabilidade.

Após a elevação do pneu, o equipamento deve possuir um sistema de apoio do pneu, para evitar que o mesmo se mova verticalmente durante a operação, sendo indispensável a possibilidade de giro do pneu após a elevação, função necessária para o encaixe do rodado no cubo de roda da máquina.

Quanto a operação, deve-se evitar grandes choques e não exceder a capacidade máxima do equipamento, por correr o risco de ocorrerem avarias no mesmo, além de colocar a segurança do operador em risco.

Após definidas as principais características do equipamento e elaborada a lista de requisitos, podemos ir para a fase de anteprojeto, onde através das necessidades e das características definidas, será elaborada a ideia e feito o layout preliminar do equipamento.

### 2.2 Funcionamento do equipamento

A elaboração do anteprojeto é a nossa segunda fase do desenvolvimento do equipamento, sendo a fase em que são especificadas as necessidades que o equipamento deve suprir e suas características para a elaboração da ideia.

Como já comentado, a estrutura do equipamento deve ser suportada por rodas para ser possível o deslocamento do rodado depois de ser retirado da máquina, o equipamento deve ser aproximado do rodado preso no cubo de roda, (o mesmo deve estar suspenso do chão), após a aproximação, deve-se engatar o rodado com o braço auxiliar que não vai permitir que o pneu se mova para frente na hora da elevação e do deslocamento. Estando devidamente posicionado, pode-se elevar o rodado, a elevação é feita pelo macaco garrafa e o acionamento é feito manualmente pelo próprio operador. Umas das características indispensáveis do equipamento é a possibilidade de girar o pneu após o mesmo ser elevado, esta função é fundamental na hora de colocar o pneu de volta na máquina, o giro do pneu deve ser possível para executar o encaixe nos parafusos localizados no cubo de roda como pode ser visto na figura 2, onde no caso (a) pode-se perceber que para que ocorra o perfeito encaixe, o rodado deve ser rotacionado até os furos convergirem como no caso (b).



Figura 2: Ilustração do encaixe no cubo no rodado

### 2.3 Layout inicial

No layout inicial do equipamento, a função de giro está localizada no local onde estão fixados os braços de sustentação do rodado, estrutura essa presa em trilhos que proporcionam o movimento da elevação através da ação do macaco hidráulico. Tanto os braços quanto a estrutura são pré-definidas de tubos retangulares ou quadrados, conforme norma NBR-8261, que se aplica a tubos de aço carbono, com ou sem costura, formados a frio, destinados a aplicação em estruturas soldadas, parafusadas ou rebitadas. A seguir a figura 3 mostra o layout preliminar do equipamento elaborado com auxílio de software CAD, sendo no caso (a) a vista isométrica frontal e no caso (b) a vista isométrica posterior.

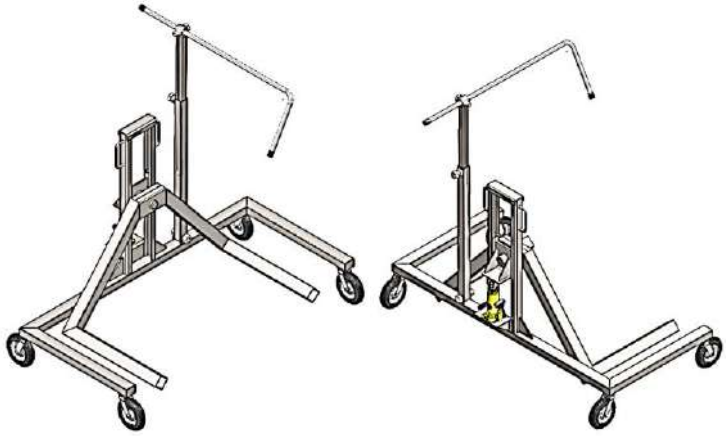


Figura 3. Layout inicial do equipamento

### 2.4 Análise do sistema de rotação

No layout inicial do equipamento, a função de giro era localizada no local em que estavam fixados os braços de sustentação do rodado, estrutura está presa em trilhos que proporcionam o movimento da elevação através da ação do macaco hidráulico, como pode ser visto na Figura 4. Após análise detalhada do funcionamento do equipamento, percebeu-se que o sistema pré-definido não atende a função a ele designada, que é possibilitar o giro do rodado. Sendo o sistema de giro localizado no próprio local de fixação dos braços (figura 4), este não coincide com o centro do rodado, que varia conforme o diâmetro do rodado que está sendo elevado. Portanto com o centro de giro não coincidente, ao tentar executar o giro do rodado, não temos o giro perfeito do mesmo em torno de sua circunferência, mas sim um deslocamento nos seus eixos x e y, caracterizando um efeito de gangorra no mesmo, que ao contrário de auxiliar no encaixe do rodado no cubo, irá dificultar o seu correto posicionamento como se pode observar na Figura 4.

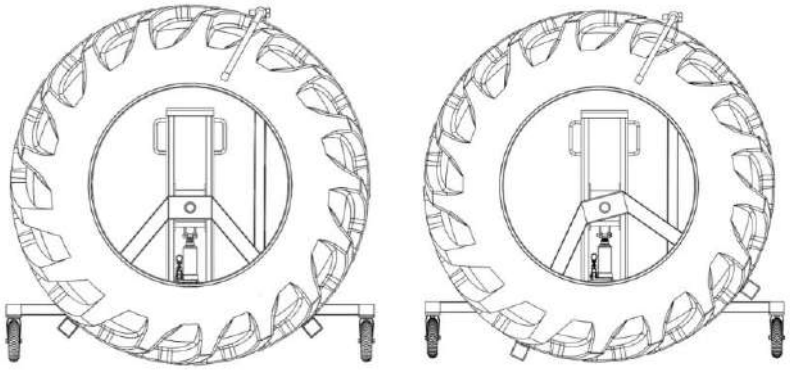


Figura 4. Matriz morfológica das subfunções

Para correção do problema apresentado, são feitas mudanças no sistema de giro do rodado, sendo desenvolvido o sistema com roletes, que é apresentado e explicado a seguir.

### 2.5 Sistema de rotação com roletes

Para correção deste problema foi mudado o sistema dos braços de sustentação do rodado, sendo retirado o sistema de giro do local que os mesmos eram fixados e adotado o sistema de roletes para proporcionar o giro do rodado, onde os mesmos são fixados na parte inferior do braço. Os roletes além de possuírem giro em torno de seu próprio eixo, são fixados em linha por uma chapa com três furos que servirão de encaixe para o eixo do rolete, sendo que a mesma chapa possui um sistema de ajuste de posição, que conforme o diâmetro do pneu a ser elevado irá proporcionar um melhor abraçamento dos roletes no mesmo. A seguir na Figura 5, observa-se o local de fixação dos roletes.



Figura 5: Sistema de roletes de rotação do rodado.

### 2.6 Dimensionamento dos roletes

Como pode ser observado na figura 5, o sistema de roletes foi composto por três roletes em cada braço e possuem um comprimento de 500 mm. Os roletes suportam o peso máximo referente ao rodado de maiores dimensões, ou seja, 1780 kgf, sendo divido pelos seis roletes, totalizando 300 kgf (arredondados) em cada rolete. Para definir o rolete compatível ao nosso equipamento, foi consultado o catálogo técnico de roletes da empresa SIBAROLL, sendo definido como compatível o rolete da série RS 900 como se observa na Figura 6.

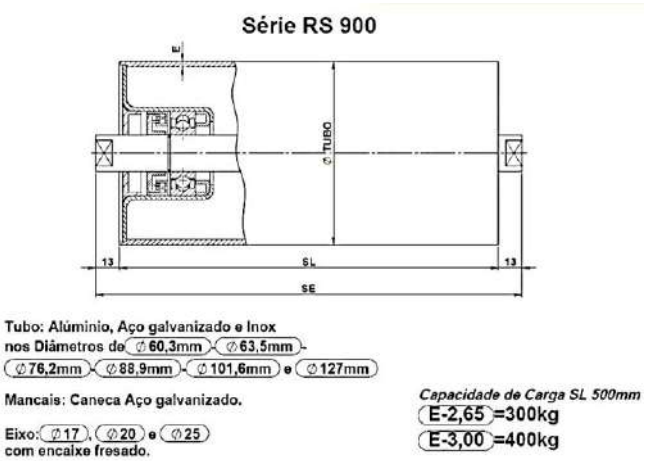



Figura 6: Rolete de rolamento do rodado

O rolete possui três opções de material, cada um especifico para cada aplicação em especial. O rolete de alumínio nos proporciona um baixo peso específico e uma grande resistência e maleabilidade, mas possui um preço muito elevado se comparado ao aço carbono. O rolete de aço inox é mais usual em aplicações que necessitem de resistência a corrosão, possuem boas características de resistência, mas também possui um preço elevado. O tubo de aço galvanizado é o mais usual em aplicações comuns, o mesmo possui propriedades físicas boas e preço muito abaixo em relação aos dois primeiros materiais citados. Por esse motivo, o modelo de rolete a ser usado foi o com tubo de diâmetro Ø63.5 mm de aço galvanizado, com seu eixo de rotação de diâmetro Ø20 mm e espessura do tubo de 2.65mm, sendo suficiente para suportar o peso de 300kg.

### 2.7 Sistema de sustentação da estrutura

Uma das funções que o equipamento tem é a possibilidade de deslocamento do rodado após ele ser retirado da máquina ou implemento. Para isso ser possível a estrutura do equipamento é suportada por rodinhas que suportam o peso da estrutura mais o peso do rodado. Desta forma é feito um estudo da distribuição do peso em cada rodinha e definido o peso máximo apoiado em uma só roda. Com o auxilio de um catálogo de fabricantes é definido o modelo de roda a ser usado no projeto do macaco.

### 2.8 Cálculo das rodinhas de apoio

A estrutura é suportada por quatro rodinhas, sendo as mesmas distribuídas em pontos extremos da estrutura de tubos. Para definição do peso aplicado em uma só roda, é feito um cálculo de somatórios de momentos, tendo como dados o peso do rodado de maiores dimensões que é igual a 1780 kgf, sendo adotado como centro de gravidade o centro

do pneu. O peso da estrutura projetada é de 80 kgf, o que equivale a 20 kg em cada roda. Na Figura 7 observam-se as dimensões necessárias para o cálculo da distribuição de peso.

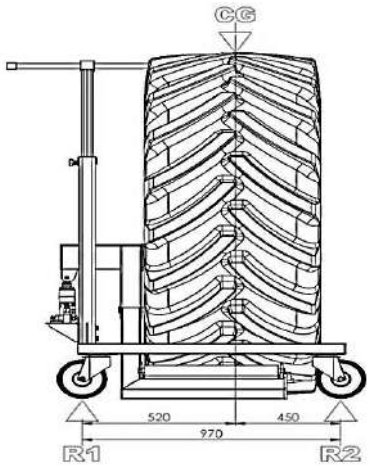



Figura 7: Vista lateral das distâncias do equipamento

Como pode ser observado, teremos duas reações, R1 nas rodas traseiras e R2 nas rodas dianteiras, sendo 970 mm a distância de um ponto de apoio a outro. O centro de gravidade do pneu encontra-se a 520 mm do centro de apoio das rodas traseiras. É feito um somatório de momentos em torno de R1 para encontrar a reação em R2, e após a mesma ser encontrada, é definida R1 com um somatório de forças em y. A seguir nas equações (1) e (2) observa-se os seguintes cálculos.

$$\sum MR1 = 0$$

$-CG * 520mm$+R2*970 mm=0

-1780kgf*520 mm+R2*970 mm=0 (1)

$R2=\frac{1780kgf*520mm}{970mm}$

R2=954 kgf

$$\sum FY = 0$$

R1+R2-CG=0

R1+954kgf-1800kgf=0 (2)

R1=1780kgf-954kgf

R1=826kgf

Após o cálculo da distribuição de forças, a maior reação encontra-se nas rodas traseiras, que suportam 954 kgf dos 1780 kgf do rodado. Desta forma, o peso máximo aplicado em apenas uma roda é 497 kg, ou seja, a metade do valor da reação R2 mais os 20 kg referentes ao peso da estrutura. Nas rodas frontais, o peso total somado em apenas uma roda é 433kgf, e por ser um valor próximo ao valor da roda traseira, foi usado o mesmo modelo de roda, sendo diferente apenas o suporte das mesmas, no qual nas rodas traseiras o suporte é fixo na estrutura, e nas rodas frontais é usado um suporte que proporcione o giro da mesma, para auxiliar no direcionamento do equipamento durante sua movimentação, além de também possuir o sistema de trava, para dar segurança ao operador durante a tarefa. Assim, com auxílio de um

catálogo de fabricantes foi definido o modelo de rodas de apoio a ser usado no equipamento. Na Figura 8 temos o modelo de rodas escolhido.




| | REFERÊNCIA | MR | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POLIURETANO | R 52 UPN | GMR 52 UPN | FMR 52 UPN | 350 | 166 | 110 | 5" 125mm | 2" | N | — | 5/8" | 1/2" | 62 |
| | R 52 UPL | GMR 52 UPL | FMR 52 UPL | | | | | | L | — | 5/8" | | |
| | R 52 UPK | GMR 52 UPK | FMR 52 UPK | | | | | | K | ▯▯ | K15 | | |
| | R 62 UPN | GMR 62 UPN | FMR 62 UPN | 400 | 196 | 133 | 6" 150mm | 2" | N | — | 5/8" | | |
| | R 62 UPL | GMR 62 UPL | FMR 62 UPL | | | | | | L | — | 5/8" | | |
| | R 62 UPK | GMR 62 UPK | FMR 62 UPK | | | | | | K | ▯▯ | K15 | | |
| | R 82 UPN | GMR 82 UPN | FMR 82 UPN | 500 | 237 | 173 | 8" 200mm | 2" | N | — | 7/8" | 5/8" | |
| | R 82 UPL | GMR 82 UPL | FMR 82 UPL | | | | | | L | — | 7/8" | | |
| | R 82 UPK | GMR 82 UPK | FMR 82 UPK | | | | | | K | ▯▯ | K20 | | |
| | R 102 UPN | GMR 102 UPN | FMR 102 UPN | 600 | 291 | 189 | 10" 250mm | 2" | N | — | 7/8" | | |
| | R 102 UPL | GMR 102 UPL | FMR 102 UPL | | | | | | L | — | 7/8" | | |
| | R 102 UPK | GMR 102 UPK | FMR 102 UPK | | | | | | K | ▯▯ | K20 | | |

Figura 8: Modelo de roda a ser usado

Como pode ser observado, as rodas escolhidas são fabricadas de poliuretano injetado, com um eixo de giro de diâmetro 7/8 de polegada (22,22 mm) e um diâmetro externo de 8 polegadas (aproximadamente 200 mm) que possibilita o deslocamento do equipamento com maior facilidade. A seguir foi definida a capacidade do macaco hidráulico responsável pelo sistema de elevação.

### 2.9 Macaco garrafa utilizado no projeto

Para a escolha do macaco garrafa que é usado para efetuar a elevação não são necessários cálculos precisos, por ser um macaco de fácil aquisição e baixo custo, pode ser adquirido um macaco mais robusto, que nos garantirá o perfeito funcionamento na hora da elevação. Portanto foi somado o peso total do rodado de maiores dimensões, o peso do sistema de abraçamento e mais uma porcentagem referente ao atrito do sistema de trilhos de elevação para assim termos a força mínima que o macaco deve possuir. Portanto são 1780 kg do peso do rodado e mais 35 kg do sistema de abraçamento, 5% referente ao atrito nos trilhos, totalizando 1905.75 kgf. Desta forma, a capacidade mínima do macaco hidráulico utilizado no sistema de elevação é de duas toneladas. Em função de preço muito semelhante foi escolhido um macaco de capacidade de três toneladas, para garantir o perfeito funcionamento do equipamento. Na Figura 9 temos um exemplo de um modelo de macaco de três toneladas de capacidade de levante e suas características principais.




Figura 9: Macaco Bovenau 3 toneladas.

As especificações técnicas do macaco da Figura 9 são as seguintes:

- Capacidade de levante: três toneladas
- Curso do pistão: 125 mm
- Curso do fuso: 60 mm
- Altura máxima: 380 mm
- Altura mínima: 195 mm

### 2.10 Dimensionamento da estrutura base

Nesta etapa é definida a espessura necessária para a estrutura base suportar os esforços que nela serão aplicados. Tal cálculo é realizado com o auxílio do programa FTOOL, que é um software de cálculo estrutural que se destaca pela

sua simplicidade. Permite executar cálculos de estruturas planas de forma rápida e bastante intuitiva, evitando a necessidade de recorrer a programas mais complexos quando é necessário obter esforços e deformações de estruturas simples como é o caso em questão. Além disso, o software é gratuito e tem uma forte componente educativa. Foi realizado um cálculo em 2D, onde temos o comprimento do tubo de 1,6 metros, sendo apoiado nas duas extremidades, apoio estes referentes as rodas de sustentação, e no meio da estrutura teremos uma força contrária de 18.9 kN, referente ao apoio do macaco garrafa quando executar a elevação. Na Figura 10 observa-se o arranjo das reações.

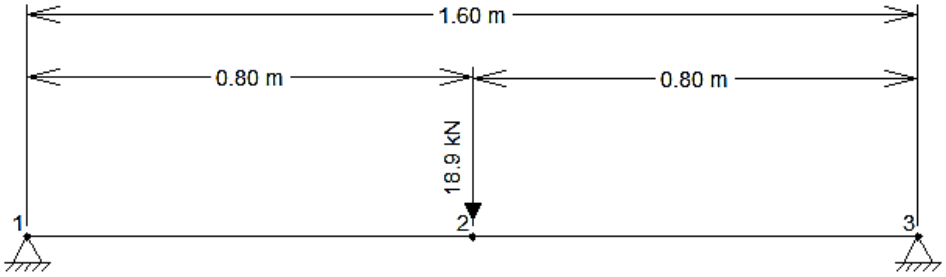



Figura 10: Analise estrutural do tubo

Ao serem analisados os tipos de esforços, percebeu-se que o esforço de flexão é o que resultará em maiores tensões, sendo esse então o cálculo principal que nos permite definir a espessura do tubo, o qual foi definido o uso de um tubo quadrado, com dimensões externas de 80 mm x 80 mm de aço 1020. A seguir na Figura 11, temos o momento fletor máximo em kN*m aplicado á estrutura.

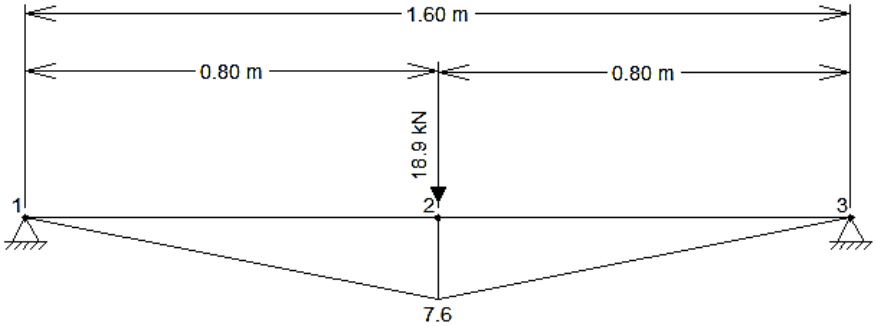



Figura 11: momento fletor máximo

Fonte: Próprio autor (2018)

Com o momento fletor máximo calculado é definido o momento de inércia mínima do tubo, mas primeiro devem ser conhecidas as propriedades mecânicas do material 1020 (limite de escoamento), sendo assim consultado uma tabela de fabricantes para obter a informação como pode ser observado na Figura 12.

Propriedades mecânicas dos aços nas condições:
laminados a quente: normalizado e recozido.

| Qualidade | | Condições | Temperatura de auste-tização (ºC) | Resist. à tração ( MPa) | Limite de escoamento (MPa ) | Alongamento (%) | Redução de área (%) | Dureza (HB) | Impacto (J) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AFP | AISI (1) | | | | | | | | |
| 1015 | 1015 | Laminado | - | 420 | 315 | 39,0 | 61 | 126 | 111 |
| | | Normalizado | 925 | 425 | 325 | 37,0 | 70 | 121 | 115 |
| | | Recozido | 870 | 385 | 285 | 37,0 | 70 | 111 | 115 |
| 1020 | 1020 | Laminado | - | 450 | 330 | 36,0 | 59 | 143 | 87 |
| | | Normalizado | 870 | 440 | 345 | 35,8 | 68 | 131 | 118 |
| | | Recozido | 870 | 395 | 295 | 36,5 | 66 | 111 | 123 |

Figura 12: Propriedades aço 1020 laminado

Conhecido o limite de escoamento do material do tubo, o momento fletor máximo e a distância y (distância do centro de gravidade do tubo até sua extremidade externa máxima) e definido um coeficiente de segurança igual a dois, pode ser calculado o momento de inércia mínima ao tubo e definida sua espessura. A seguir na equação (3) temos o cálculo da inércia mínima do tubo.

$$\sigma = \frac{M * Y}{I} \quad (3)$$

$\sigma$ = Tensão máxima = 330/2 = 165 MPa

M = Momento fletor máximo = 7600000 N * mm

Y= Distância centro de gravidade até a extremidade externa máxima do tubo (80/2) = 40 mm

I = Inércia da seção

Sendo assim:

$$I = \frac{M*Y}{\sigma} = \frac{7600000N*mm*40mm}{165\frac{N}{mm^2}} = 1842424{,}24\ mm^4 = I = 184{,}24\ cm^4 \quad (3)$$

Calculado o momento de inércia é consultado um catalogo de fabricantes para definir a espessura do tubo conforme Figura 13:

| Dimensão | Espessura | Peso | Área/ seção | Momento de inércia | Módulo de elasticidade | Raio de giração |
|---|---|---|---|---|---|---|
| mm/A | mm/e | kg/m | cm² | cm4 | cm³ | cm |
| 80,00 | 1,50 | 3,697 | 4,710 | 48,391 | 12,098 | 3,205 |
| | 1,90 | 4,659 | 5,936 | 60.377 | 15,094 | 3,189 |
| | 3,00 | 7,253 | 9,240 | 91,445 | 22,861 | 3,146 |
| | 5,60 | 13,082 | 16,666 | 154,621 | 38,655 | 3,046 |
| | 2,25 | 6,906 | 8,798 | 140,175 | 28,035 | 3,992 |
| | 2,65 | 8,108 | 10,319 | 163,111 | 32,622 | 3,976 |
| | 3,00 | 9,137 | 11,640 | 182,709 | 36,542 | 3,962 |
| | 3,35 | 10,167 | 12,951 | 201,874 | 40,375 | 3,948 |

Figura 13: Catálogo tubos quadrados

Desta forma, o tubo definido é o de dimensões de 80 x 80 x 3.35 mm.

## 2.11 Layoy Final

Sendo definidas as principais características que o equipamento deve possuir e seus principais componentes idealizou-se o projeto final com o auxílio do software SolidWorks, o qual pode ser visto em perspectiva na Figura 14, bem como a indicação de cada componente principal do funcionamento do mesmo.

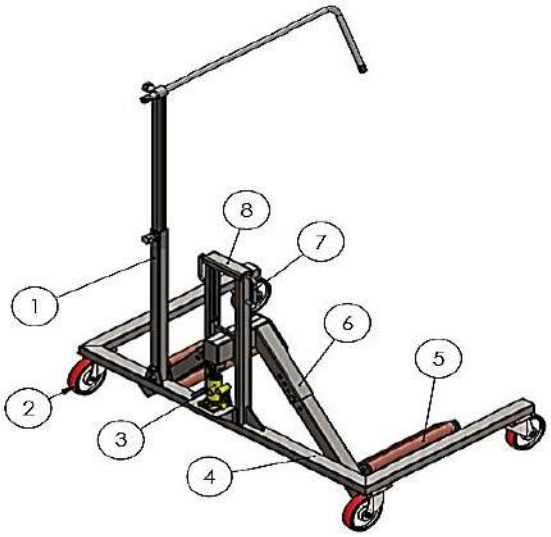



Figura 14: Vista isométrica do equipamento e seus principais componentes

Foi idealizado um projeto com intuito do mesmo ser simples e funcional, de fácil fabricação podendo ser conferido se as funções pré-dispostas foram atendidas e se é possível a fabricação e montagem de todos os componentes. A seguir temos a descrição dos principais componentes destacados na Figura 10.

1. Braço de apoio: tem como função manter o rodado estável durante sua elevação.
2. Rodinhas de apoio do equipamento: responsáveis por suportar o peso da estrutura e do rodado a ser elevado, além de proporcionar o deslocamento do mesmo.
3. Macaco de elevação: É responsável pelo sistema de elevação do equipamento, modelo garrafa de acionamento manual.
4. Estrutura base: Local onde serão fixadas as rodinhas, disposta de tubos quadrados.
5. Roletes de apoio: Suportarão o peso do rodado e são os responsáveis por proporcionar o giro do mesmo.
6. Braços de sustentação: Braços fabricados por tubos quadrados, com sistema de regulagem para diferentes diâmetros de pneus.
7. Sistema de trilhos de deslizamento: Responsáveis por suportar o peso dos braços e do rodado, além de proporcionar o movimento linear vertical de elevação.

## 3. CONCLUSÕES

Neste capítulo é discutido os passos do desenvolvimento do equipamento e é feita uma breve conclusão dos resultados obtidos assim como os conhecimentos adquiridos nesta disciplina com o desenvolvimento deste estudo.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um equipamento que auxilie principalmente trabalhadores no meio rural, no manuseio dos pneus das máquinas na hora da troca ou manutenção.

Foram desenvolvidos cálculos de dimensionamento através de um somatório de momentos para ser definida a reação em cada roda de apoio e, com o auxílio de um catalogo de fabricantes, foi definido o modelo de rodas usadas.

Empregou-se o mesmo procedimento de dimensionamento da estrutura base, com o auxílio do software FTTOL, definindo-se o momento fletor máximo aplicado à estrutura para cálculo da inércia mínima necessária do tubo e definido o tubo a ser usado através de consulta a uma tabela de fabricantes.

De modo geral, após a elaboração do anteprojeto e feitos os cálculos de dimensionamento, obteve-se o projeto de um equipamento com bom custo benefício, tendo uma estrutura de fácil fabricação e um sistema de levante de simples funcionamento.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **LG STEEL** (São Paulo). Propriedade mecânica dos aços: Propriedades mecânicas dos aços nas condições: laminados a quente: normalizado e recozido. 2018. Disponível em: <http://lgsteel.com.br/propriedades-mecanicas-do-carbono.htm>. Acesso em: 12 out. 2018.
2. **LLC**, Sbierman@biermansales.com Bierman Sales. Ver carrinho Heavy Duty Ag Roda Dolly: BS4800.2018.Disponívelem:<http://dualchanger.com/Product/ProductDetails/63>. Acesso em: 01 jun. 2018.
3. **PORTAL METÁLICA**. Tubos aço quadrado. 2018. Disponível em: <http://wwwo.metalica.com.br/tubos-aco-quadrado>. Acesso em: 12 out. 2018.
4. **RODCAR** (Guarulhos São Paulo). Catálogo de rodas e rodizios. 2017. Disponível em: <http://www.rodcar.com.br/Site/php/contato.php>. Acesso em: 11 out. 2018.
5. **SIBAROLL** - COPYRIGHT 2018 - SIBAROLL. (São Paulo). Roletes de carga. 2018. Disponível em: <https://www.sibaroll.com.br/localizacao>. Acesso em: 31 ago. 2018.
6. **VONDER** (Santa Catarina). Equipamentos para transporte e elevação: Macaco hidráulico. 2018. Disponível em: <http://www.vonder.com.br/departamento/equipamentos_para_transporte_e_elevacao_macaco>. Acesso em: 02 dez. 2018.

## 5. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# CONCEITO DE DISPOSITIVO ROTACIONAL PARA MONTAGEM E SOLDAGEM DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS

**Josiel Silvestri Ruggini**
**Darlei Mezzomo**
**Márcio Walber**

Universidade de Passo Fundo, BR 285, São José, Passo Fundo/RS: 99052-900
125150@upf.br; 135120@upf.br; mwalber@upf.br;

**Resumo:** *O sistema de transportes brasileiro define-se basicamente por uma extensa matriz rodoviária constituída de veículos de carga. A busca por implementos rodoviários para esses veículos cresceu significativamente e para atender essa demanda é necessária maior agilidade na fabricação. A finalidade deste estudo é o desenvolvimento e dimensionamento de um dispositivo capaz de rotacionar os mais diversos tipos de carrocerias (basculante aberta, graneleira, inoxidável fechada para subprodutos, entre outras), facilitando a soldagem, montagem e movimentação das mesmas. O equipamento terá como função principal girar a carroceria presa à estrutura em um giro de 360º sobre o eixo do equipamento. Utilizando a fase de planejamento e a fase de concepção da metodologia proposta por Pahl e Beitz (2005), tem-se a criação de uma lista de requisitos, o estabelecimento de variantes de solução e, por fim, a determinação da concepção de um equipamento robusto que será utilizado para a produção de implementos com até sete toneladas de carga e dez metros de comprimento.*

**Palavras Chave:** *carrocerias sobre chassi, aço inoxidável, ergonomia na montagem.*

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores limitações ao crescimento econômico do Brasil está intimamente ligada à eficiência da cadeia logística de infraestrutura do transporte de carga existente no país. A matriz brasileira de transporte de cargas é formada demasiadamente por modal rodoviário. Segundo a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), em 2018 o transporte de cargas rodoviário representava cerca de 61% da matriz de transporte brasileira, enquanto o ferroviário conta com 21%, o aquaviário, com 14%, e o aéreo e o dutoviário com 4%.

Para atender essa demanda do modal de transporte rodoviário, se faz necessários veículos de carga. Um caminhão completo é uma combinação de produtos de dois setores industriais. O primeiro é responsável pela produção do veículo automotor (composto por cabine, chassi e sistema de motor e tração) e o segundo é responsável pela fabricação de acessórios e complementares ao caminhão (reboques, semirreboques, caçambas e carrocerias) chamados implementos rodoviários, que permitem ao veículo cumprir efetivamente sua função de transporte de cargas.

Os primeiros fabricantes de implementos rodoviários instalaram-se no Brasil na década de 1950. Na década de 1970 impulsionadas pela demanda crescente do transporte de carga rodoviário, fabricavam uma série bastante diversificada de produtos e modelos. Atualmente, os fabricantes de implementos trabalham à base de encomendas. Assim, o fabricante passa por períodos de intensa demanda, que levam a indústria a trabalhar com sobre capacidade ou mesmo a perder encomendas.

Para atenuar esses sintomas a busca por processos e equipamentos que auxiliam e aceleraram a produção de implementos é trivial para o setor. Neste contexto, surge a necessidade do desenvolvimento de um equipamento que consiste em movimentar carrocerias para acelerar o processo de montagem e soldagem com segurança e praticidade.

O objetivo principal deste artigo é desenvolver o projeto de um dispositivo que facilite a movimentação de carrocerias para a montagem e soldagem, em uma linha de produção de implementos do tipo sobre chassi de uma empresa metalúrgica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do conceito do equipamento do dispositivo para montagem e soldagem de implementos rodoviários, foram utilizadas as duas primeiras fases propostas por Pahl *et al*. (2005). Buscou-se com a utilização dessas

fases a determinação correta do planejamento da tarefa a ser desenvolvida, a criação de uma lista de requisitos, as funções requeridas para o equipamento, o atendimento dessas funções e a criação de um conceito de produto que atende ao proposto.

### 2.1 Planejamento do produto

Nesta fase é realizado o estudo da viabilidade do equipamento. Antes de qualquer desenho, devem ser esclarecidas as características essenciais e desejáveis, assim como as necessidades que o equipamento deve suprir, sendo desta forma elaborada a lista de requisitos, onde irão constar todas as especificações do produto determinantes para a solução.

A principal ideia deste estudo é a fabricação de um equipamento que possa movimentar implementos rodoviários, rotacionando a carroceria fixada à estrutura, facilitando a movimentação para a soldagem e reduzindo o risco físicos e ergonômicos dos soldadores.

No projeto do equipamento a função principal é que atenda ao propósito de facilitar e auxiliar a produção e movimentação de carrocerias na indústria metal-mecânica, sendo de baixo custo, contudo eficiente. Para isso utilizou-se uma adaptação da linha mestra, proposta por Pahl e Beitz (2005), conforme a Figura 1.

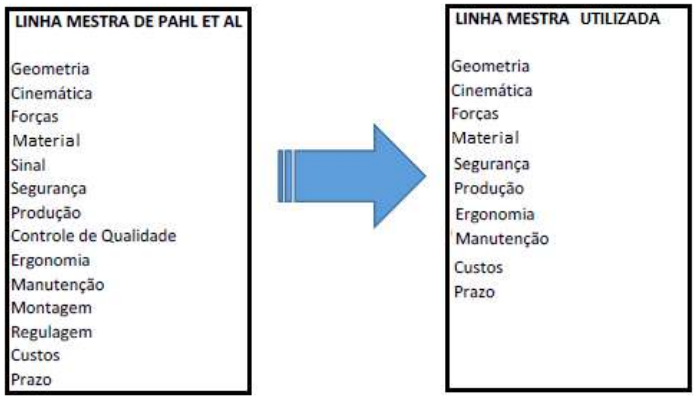



Figura 1 - Linha Mestra do Produto

### 2.2 Lista de Requisitos

Utilizando-se a linha mestra montou-se a lista de requisitos do produto, que está exposta na Tabela 1. Os requisitos foram classificados em: E – Exigência, ou seja, o que deve ser cumprido, ou, D – Desejável, ou seja, não é uma obrigação, mas existe uma vontade que seja cumprida.

Tabela 1 - Lista de requisitos

| LINHA MESTRA | E/D | REQUISITOS |
|---|---|---|
| Geometria | E | Comprimento mínimo 12 metros |
| | E | Compatível com os principais implementos sobre chassi |
| | D | Largura de 0,9 metro x Altura de 1,8 metros |
| | D | Perfis e componentes estruturais soldados e parafusados |
| Forças | E | Comportar implementos de até 6 toneladas sobre a estrutura |
| Material | D | Material de boa soldabilidade e preço de aquisição baixo |
| | D | Vigas laminadas para evitar flexão e resiliência na estrutura |
| | D | Moto redutor para rotacionar o equipamento |
| | E | Painel elétrico com componentes elétricos de comando e força |
| | E | Mancais para acomodação dos eixos de giro |
| | E | Acoplamentos para transmissão de força |
| Cinemática | E | Girar em torno do eixo do equipamento |
| Segurança | E | O equipamento deve atender requisitos da NR12 |
| | E | Travas para fixação do implemento junto a estrutura |
| Ergonomia | E | Não deve exigir esforço físico do operador (NR-17) |

Tabela 2 - Lista de requisitos (continuação)

| | | |
|---|---|---|
| Manutenção | E | Sistema mecânico e elétrico simples de baixa necessidade de manutenção do equipamento |
| | D | Deve ser feito revisões periódicas do equipamento |
| Produção | D | Conformação dos componentes estruturais |
| | D | Estrutura enxuta sem necessidade de moldes para construção |
| Prazos | D | Até 60 dias após o projeto detalhado |
| Custos | D | Custo máximo de 50 mil reais |

## 2.3 Concepção

Após a lista de requisitos estar definida passou-se para a segunda fase da metodologia de Pahl et al. (2005), estabelecendo a concepção do produto. Utilizando-se da lista de requisitos e a ferramenta de abstração, proposta pelos autores, se definiu a função global que o produto deve cumprir, o fluxograma da Figura 2 apresenta as entradas, saídas e a função global encontrada, assim como as subfunções necessárias para o atendimento da função principal.

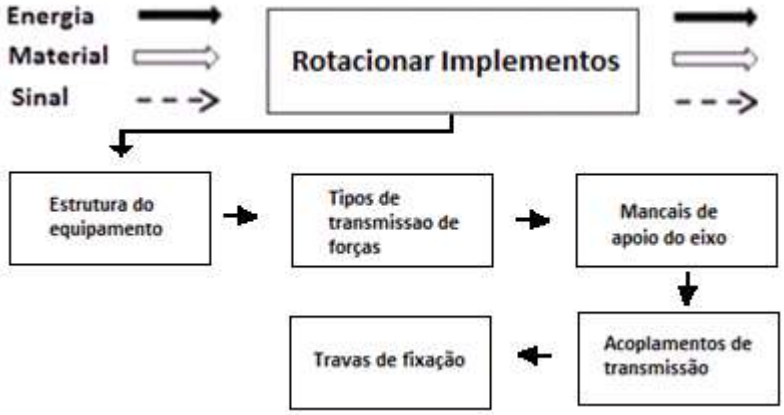



Figura 2 - Função Global do Produto e Subfunções

## 2.4 Variantes de solução

Através das subfunções determinadas, criou-se a matriz morfológica de solução, onde são encontradas soluções para cada subfunção requerida para o atendimento da função global proposta anteriormente. A matriz morfológica pode ser vista na Figura 3.

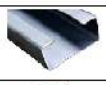
| Princípios de solução | | | |
|---|---|---|---|
| Função | Solução 1 | Solução 2 | Solução 3 |
| A - *Estrutura do Equipamento* |  |  |  |
| B - *Mancais de Apoio do Eixo* |  |  | |
| C - *Travas de fixação do Implemento* |  |  |  |
| D - *Transmissão de Forças de Movimentação* |  |  |  |
| E- *Acoplamentos para transmissão de forças* |  |  |  |

Figura 3 - Matriz morfológica das subfunções

A seguir são caracterizadas cada uma das subfunções definidas para a busca do conceito:

- **Estrutura do equipamento:** Para que a estrutura onde será fixado o implemento rodoviário, permaneça rígida e não empene materiais laminados, tubulares ou conformados podem constituir o equipamento.
- **Mancais de apoio do eixo:** Para o funcionamento do sistema de giro, pode-se utilizar mancais de deslizamento ou mancais de rolamento.
- **Travas de fixação:** Fixam o implemento e evitam a movimentação sobre a estrutura ao girar. Serão utilizadas as opções de morsas, grampo "U" ou grampos do tipo "C" sargento.
- **Tipos de transmissão de forças para movimentação:** Para o funcionamento do sistema de giro, pode-se utilizar conversores de energia em movimentos cinéticos do tipo: atuadores hidráulicos, moto redutores ou atuadores pneumáticos.
- **Acoplamentos para transmissão de forças:** Para ligar o eixo de giro do equipamento aos sistemas de transmissão de forças, são necessários acoplamentos resistentes a grades cargas e que não transmitam folgas ao engrenamento. Para isso foram escolhidos acoplamentos do tipo rígidos, por correntes e engrenagens.

Com base na análise das possíveis soluções de cada subfunção, considerando o atendimento a lista de requisitos, a facilidade de produção, o custo, o nível de precisão e a facilidade de operação, chegou-se a duas variantes, denominadas V1 e V2, sendo a variante V1 composta pelas seguintes características:

- Estrutura do Equipamento: Vigas laminadas;
- Mancais de apoio do eixo: Mancal de rolamento;
- Travas de fixação: Morsas;
- Tipos de transmissão de forças para movimentação: Caixa redutora de velocidade;
- Acoplamentos para transmissão de forças: Acoplamento rígido.

E a variante V2:

- Estrutura do Equipamento: Perfil conformado enrijecido;
- Mancais de apoio do eixo: Mancal de rolamento;
- Travas de fixação:
- Tipos de transmissão de forças para movimentação: Caixa redutora de velocidade;
- Acoplamentos para transmissão de forças: Acoplamento rígido.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em sequência ao projeto, apresentou-se o desenvolvimento do conceito de acordo com as intenções e avaliações decorrentes da aplicação do procedimento metodológico proposto para o desenvolvimento do projeto conceitual. Dessa avaliação considera-se como de melhor desempenho a variável que atendeu todos ou o maior número de solicitações. Fato esse identificado na variante V1, que se atribui a uma solução básica e com conceito vantajoso para o subsequente anteprojeto. Enquanto a variante V2, embora apresente a maioria das características e parâmetros iguais ou similares ao da V1, perde em eficácia no que tange a rigidez da estrutura e ao peso, características provenientes da diferença entre os tipos de materiais de construção selecionados para cada uma das duas variantes.

Resultante desse processo de desenvolvimento de produto, a Figura  apresenta de forma resumida o resultado de um conceito do equipamento rotacional para montagem e soldagem de implementos rodoviários.

O esboço do equipamento desenvolvido tem a finalidade de auxiliar na montagem e movimentação de implementos rodoviários do tipo sobre chassi. O funcionamento do equipamento é divido em etapas de preparação, posicionamento e fixação de carrocerias sobre as vigas laminadas dom equipamento. No primeiro momento, com a estrutura posicionada horizontalmente, coloca-se o chassi do implemento pré-montado sobre o equipamento. Após apertam-se os dispositivos de fixação, mantendo o chassi preso à estrutura. O próximo procedimentos é a montagem dos demais componentes das carrocerias, e assim havendo necessidade de movimentação, aciona-se o comando elétrico do dispositivo fazendo com que o moto redutor transfira a força para o eixo do equipamento e gire toda a estrutura e a carroceria.

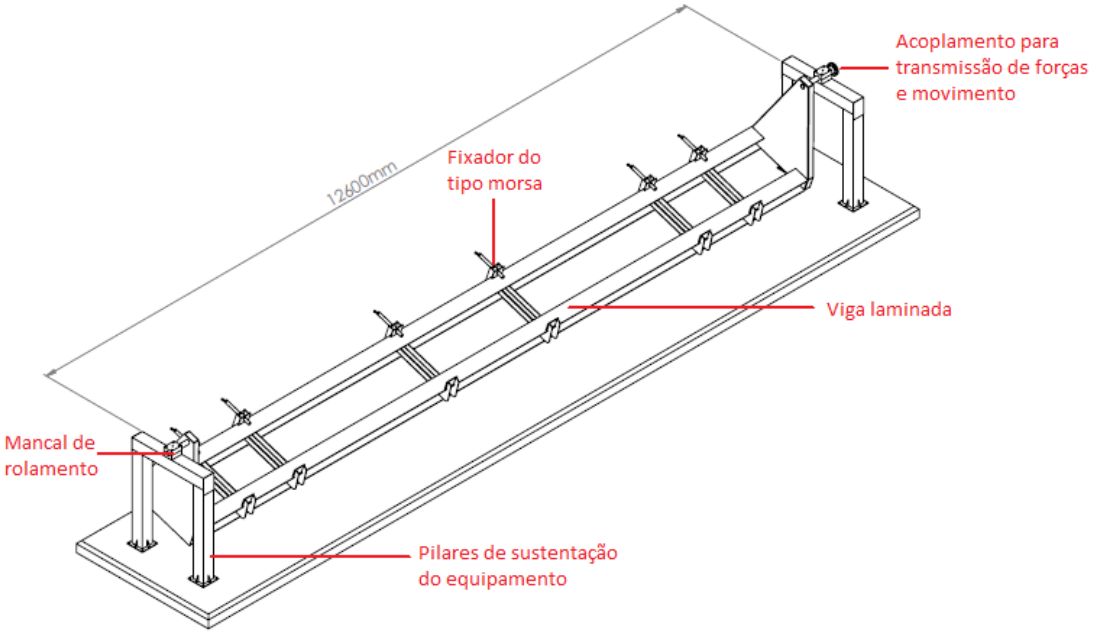



Figura 4 - Conceito do equipamento

As dimensões do equipamento são adotadas devido a estrutura dos implementos que serão montados e soldados presos a estrutura da máquina. Os diferentes tipos de implementos e dimensões para a construção dos mesmos, são precedentes para adoção das dimensões mínimas do equipamento.

Obedecendo as solicitações impostas na lista de requisitos, algumas das escolhas realizadas apresentam desempenho próximo a certas opções que foram descartadas, como por exemplo a escolha de construir com vigas laminadas ao invés de tubos retangulares e perfis conformados.

A questão da utilização de mancal de deslizamento foi rejeitada, pois como se pretende diminuir a manutenção do equipamento ao máximo, principalmente com menor custo na troca de peças e redução de serviço. Com isso optou-se pelo modelo de mancal de rolamento comum, que atendem às necessidades do projeto.

Finalizando, o sistema de movimentação e transmissão de forças será por caixa de redução, pela fácil adequação ao projeto e menor complexidade com o sistema de girar a estrutura.

## 4. CONCLUSÕES

A utilização de metodologia projetual possibilitou privar-se de ideias fixas e práticas rotineiras sem uma avaliação pormenorizada e minuciosa dos fenômenos físicos que a boa técnica recomenda e possam passar despercebidos no cotidiano. Geraram-se informações preciosas presentes na lista de requisitos e nas variantes de soluções capazes de auxiliarem no desenvolvimento de um produto satisfatório. As referências obtidas legitimam em primeira análise a um produto existente servindo de um degrau à execução futura das fases de anteprojeto e detalhamento para o produto estudado.

Em relação aos requisitos listados, estes referentes ao projeto do equipamento, foram elaboradas as principais funções e características que o equipamento deve possuir, sendo executado o seu layout preliminar e definidas as características que o material da estrutura deve possuir.

Assim, com base neste artigo, a fase de anteprojeto se definirá de maneira clara e completa com toda a nova estrutura do equipamento de acordo com critérios técnicos e econômicos. Devem ser apresentados cálculos de dimensionamento dos elementos estruturais e o projeto mecânico final detalhado do sistema.

Conclui-se assim que a utilização de metodologias de planejamento e desenvolvimento de produtos apresentam diversas vantagens, e nesse artigo, auxiliou na criação de informações para o desenvolvimento do conceito de um equipamento para auxiliar a montagem e soldagem de implementos rodoviários.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, Sergio Francisco Dela; LOPES, Luiz Eduardo. Metodologia de ensaio de flexão vertical para avaliação de eixo veicular utilizado em suspensão pneumática de implementos rodoviários. Blucher Engineering Proceedings, v. 2, n. 1, p. 558-574, 2015.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri, SP: Manole, 2008.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR17. Ergonomia. Novembro 1990: Disponível em: <http://www.mte.gov.br > Acesso em: 02 de maio 2019.

CESÁRIO, André Alanis. Estimativa da vida em fadiga de componentes de implementos rodoviários através de métodos espectrais. 2012.

CORRÊA, Martinho Ullmann. Sistematização e aplicações da NR-12 na segurança em máquinas e equipamentos. 2012.

DUL, Jan; WEERDMEESTER Bernard. Ergonomia Prática. São Paulo: Editor Edgard Blücher, 2001.

EBANATAW, Trafegando. Disponível em: <http://www.ebanataw.com.br/trafegando/gabaritorodoviario.htm>. Acesso em: 30 junho de 2019.

FLORIDO, Claudio Henrique; Juvenilson Seiti Kuninari; Rogério Gagliardo. Mesa giratória para montagem de cabinas de elevadores. BR nº PI 9906247-0 A2, 22 set. 1999, 26 jun. 2001. Disponível em: <https://gru.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=529668&SearchParameter=MESA%20GIRAT%D3RIA%20PARA%20MONTAGEM%20DE%20CABINAS%20DE%20ELEVADORES>. Acesso em: 21 maio 2019.

GODDARD, Brad J.; Mark A. Hann; Thomas C. Banks. Célula de trabalho de soldagem, Método de manipulação de uma célula de trabalho de soldagem e Célula de trabalho soldagem em rede. USA nº BR 102018006357-0, 28 mar. 2018, 30 out. 2018. Disponível em:<https://gru.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action =detail&CodPedido= 1471849&SearchParameter=BR%20102018006357-0>. Acesso em: 20 maio 2019.

GOLDENSTEIN, Marcelo; Alves, Marcelo de Figueiredo; Azevedo, Rodrigo Luiz Sias de. A Indústria de Implementos Rodoviários e sua Importância para o Aumento da Eficiência do Transporte de Cargas no Brasil. 2006.

HARTMANN, Douglas. Análise ergonômica da soldagem do produto lança em uma indústria do setor metal mecânica. 2016.

IIDA, Itiro. Ergonomia, Projeto e Produção. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

MACHADO, Ivan Guerra, Soldagem e Técnicas Conexas: Processos. Porto Alegre, 1996.

OLDONI IMPLEMENTOS. Implementos Rodoviários. Disponível em: <https://www.facebook.com/oldoniimplementos/>. Acesso em: 10 abr. 2019.

PAHL, G. et. al. Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. XVI. 412 p.

RANDON IMPLEMENTOS. Implementos Rodoviários. Disponível em: <https://www.caminhoes-e-carretas.com/2014/09/setor-de-implementos-rodoviarios.html>. Acesso em: 10 abr. 2019.

WESCHENFELDER, Charles Mateus. Análise e gerenciamento de riscos ocupacionais em processos de manufatura. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Fahor, Horizontina, 2016.

## 6. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está escrito neste artigo.

CONIGTI
5th International Congress of Management, Technology and Innovation
September 30 to October 4, 2019 | Erechim, RS, Brazil
URI ERECHIM

# RELAÇÕES DIMENSIONAIS ÓTIMAS DE PERFIS U E U ENRIJECIDOS FORMADOS A FRIO SOB COMPRESSÃO AXIAL

**Wesley Chimento**
**Ricardo Fabeane**
**Juliana Triches Boscardin**
**Rubens Meneguzzi**
**Leandro Paludo**
**Susana Klanj**
**Rose Grochot Gayeski**
Centro de Ensino Superior Riograndense, Marau, RS, Brasil.
wesleychimento@gmail.com; ricardo.fabeane@gmail.com; enga.triches@gmail.com; rubensmeneguzzi@cesurg.com.br; diretorcomunicação@cesurg.com.br; s.klanj@yahoo.com.br; seduc.proferose@gmail.com

**Resumo:** *Atualmente, é crescente o número de pesquisas sobre estruturas de aço. Isso se deve a grande utilização do material, principalmente dos perfis de aço formados a frio, uma vez que o mesmo permite a flexibilização da geometria da seção transversal dos perfis, o que permite a execução de um dimensionamento otimizado para os esforços atuantes. Com base nisso se propôs a aplicação de técnicas de otimização para determinação de relações dimensionais ótimas de perfis U e U enrijecidos (Ue) conformados a frio submetidos a compressão axial, para que assim se pudesse avaliar quais as melhores seções para diferentes comprimentos e espessuras dos perfis e realizar um comparativo de carga x peso entre os perfis U e Ue para as seções otimizadas. O método de otimização utilizado foi o método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG), e o material escolhido foi o aço ZAR 345. Como resultados da pesquisa, foi possível encontrar relações dimensionais de fácil utilização que conduzem a resultados próximos do ótimo para o dimensionamento de estruturas utilizando perfis U e Ue.*

***Palavras chave:*** *Otimização, Perfis Formados a Frio, Compressão, Relações Dimensionais.*

## 1. INTRODUÇÃO

Ainda que os sistemas de construção em concreto e alvenaria sejam os mais tradicionais e predominantes no Brasil, nas últimas décadas tem-se evidenciado um crescimento na execução de construções em aço. Alguns dos fatores são a necessidade da execução de obras de forma mais rápida, com menos desperdícios e de qualidade elevada o que, para o sistema de construção em aço, são características comuns. Mesmo sendo possível listar uma série de vantagens das construções em aço perante os sistemas tradicionais, este sistema ainda não se tornou o mais empregado no Brasil por um principal motivo: seu alto custo de execução se comparado com os demais sistemas

Como forma de contornar essa barreira e tornar as construções em aço mais competitivas, os projetistas são cada vez mais cobrados para o desenvolvimento de soluções otimizadas que tirem proveito das principais características do aço. Para que isso seja possível, avanços constantes em pesquisas sobre o material, sobre os sistemas de construções e sobre o dimensionamento de seus elementos são uma necessidade fundamental.

Grigoletti (2008) cita a grande utilização dos perfis de aço formados a frio na atualidade tendo como fundamento a grande aplicação dos mesmos, ora sendo empregados na construção civil convencional (prédios residenciais e industriais) ora em estruturas mecânicas, tais como estruturas de veículos. As atuais exigências econômicas fazem com que estes perfis tenham, cada vez mais, alto desempenho estrutural.

Uma das características dos perfis formados a frio que tem destacada importância na viabilização de construções com esse sistema está na flexibilização da geometria da seção transversal dos perfis. Essa característica se demonstra na possibilidade da criação de geometrias diversas ou pela execução de geometrias padrões com diferentes relações dimensionais entre seus elementos, o que permite a execução de um dimensionamento otimizado para os esforços atuantes.

Chamberlain Pravia e Kripka (2008) realizaram um estudo que consistiu em determinar o peso mínimo para perfis U formados a frio com e sem enrijecedores de borda, utilizando como base a norma norte americana AISI de 2001. O método de otimização utilizado no estudo foi o Método do Recozimento Simulado, e foram considerados os métodos de falha dos perfis por escoamento da seção transversal, flambagem global por flexo compressão, flambagem local de placa e flexo

torção. Como resultado, chegou-se a uma grande redução do peso dos perfis, e pode-se constatar que a adição de enrijecedores de borda nos mesmos proporcionou uma redução significativa no peso dos perfis estudados, mostrando-se muito promissor ao proporcionar uma redução geral de cerca de 24% do peso nos casos analisados.

Entende-se, portanto, que uma grande evolução nos projetos com perfis formados a frio poderia ser obtida caso fossem conhecidos parâmetros de fácil aplicação na definição da seção transversal dos elementos que conduzissem a um dimensionamento otimizado, do que resultaria em estruturas de elevada relação resistência/peso, e na maior competitividade deste sistema.

Com base nisto, este estudo visa a determinação de relações dimensionais ótimas de perfis U e U enrijecidos formados a frio e submetidos a compressão axial. As geometrias de perfis U e Ue sob compressão foram utilizadas neste trabalho por serem de ampla aplicação em estruturas típicas de perfis formados a frio, como em treliças por exemplo.

A busca pelas seções ótimas destes perfis é realizada através da formulação matemática do problema e da aplicação de um método de otimização. Uma vez conhecidas relações dimensionais para os perfis, torna-se de fácil aplicação a engenheiros estruturais o uso destas informações na fase de pré-dimensionamento da seção transversal dos perfis.

## 2. METODOLOGIA

Uma tabela de dimensionamento foi criada no software MS Excel para obtenção dos dados de capacidade resistente de perfis formados a frio de seção U e Ue submetidos a compressão centrada.

Os parâmetros adotados para que se pudesse criar a planilha e fazer com que a mesma retornasse os resultados necessários para o estudo, basearam-se na norma ABNT NBR 14762:2010, e o método de dimensionamento escolhido para a realização do estudo foi o Método da Seção Efetiva. A escolha do método deve-se a sua facilidade de aplicação e implementação.

A metodologia adotada foi fixar alguns dos parâmetros para o estudo e determinar quais as dimensões da seção transversal que resultam na maior resistência axial do perfil para cada uma das seções estudadas. Criada a planilha sobre os parâmetros citados, a mesma foi testada comparando valores já existentes tanto de capacidade resistente quando de outras propriedades de perfis já conhecidos. Após esses testes, foram efetuadas as análises para determinação das dimensões ótimas.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram tomados como base elementos submetidos a compressão centrada com comprimentos destravados para flambagem em relação aos eixos principais “x” e “y” no intervalo de 1,0m a 3,0m, com variação dos casos a cada 0,50m. Tal faixa de comprimentos foi determinada tendo-se em conta que a maior parte da aplicação dos casos cobertos neste estudo dá-se em estruturas treliçadas, para as quais a faixa de comprimentos proposta costuma ser utilizada.

Com vista a obter resultados relacionados aos materiais comumente utilizados em perfis formados a frio, foram realizados estudos utilizando o material (ZAR 345), aço estrutural de alta resistência. Tal aço possui propriedades mecânicas semelhantes ao aço ASTM A572Gr50, este que é amplamente utilizado em perfis soldados e laminados.

No que se refere a faixa de espessuras, os estudos desenvolvidos foram baseados nas espessuras de 1,95mm; 2,30mm; 2,70mm e 3,00mm. A escolha destas espessuras se deu em função de sua grande aplicação na confecção de elementos formados a frio.

Considera-se neste estudo que os perfis otimizados serão obtidos de tiras de aço extraídas de chapas com largura total de 1200mm. Como a geração de sucata é um limitante prático a ser considerado no projeto de perfis dobrados, optou-se pela análise de perfis que apresentem uma largura plana máxima múltipla de 1200mm, eliminando ou diminuindo assim o percentual de sucata gerado. Os valores escolhidos como máximos para a planificação da seção do perfil foram de 200mm (6 perfis/chapa), 300mm (4 perfis/chapa) e 400mm (3 perfis/chapa).

Conforme restrição imposta, o índice de esbeltez máximo dos perfis gerados (KL/r) não deve ser superior a 200.

Para cálculo dos perfis pelo método da seção efetiva, a norma ABNT NBR 14762:2010 impõem como limites algumas relações dimensionais para que se possa calcular o coeficiente de flambagem local para cada seção de perfil. As limitações dimensionais impostas pela norma são as de que para perfis U e Ue a relação “bf/bw” não deve ser superior a 1 e nem inferior a 0,1, e para perfis Ue ainda impõem que a relação entre suas dimensões “D/bw” não deve ser inferior a 0,1 e nem superior a 0,3.

O método de otimização utilizado para que se pudesse chegar nas dimensões ótimas dos perfis foi o Método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG), o qual é disponibilizado pelo software MS Excel.

De acordo com Köksoy e Yalcinoz (2006), o GRG é o método mais utilizado na resolução de problemas que contenham várias respostas possíveis, isso devido ao fato de ter sua implantação facilitada e de estar disponibilizado o seu algoritmo no pacote “solver”, ferramenta essa que acompanha o software Microsoft Excel®.

O uso desse método deu-se seguindo a seguinte formulação:

Maximizar:
f(x)=Nc, Rd (Capacidade resistente do perfil)
Variando:
bw (Dimensão da alma do perfil)

| | |
|---|---|
| bf | (Dimensão das abas do perfil) |
| D | (Dimensão dos enrijecedores do perfil) |

Sujeito as Restrições:

| | |
|---|---|
| bw > 0 | (Dimensão da alma do perfil) |
| bf > 0 | (Dimensão das abas do perfil) |
| D > 0 | (Dimensão dos enrijecedores do perfil) |
| 0,1 ≤ bf/bw ≤ 1,0 | (Restrição imposta pela NBR14762:2010) |
| 0,1 ≤ D/bw ≤ 0,3 | (Restrição imposta pela NBR14762:2010) |
| D/bw ≥ D/bw mín | (Relação D/bw, para dispensar a verificação da flambagem distorcional) |
| (KL/r)x ≤ 200 | (Limites do índice de esbeltez dos elementos) |
| (KL/r)y ≤ 200 | (Limites do índice de esbeltez dos elementos) |
| Lch ≤(200,300 ou 400) | (Largura de chapa plana, para cada caso um valor) |

Para a aplicação do método foi determinada a precisão da restrição como sendo 0,001 e tamanho da população como sendo 100000 para que assim se pudesse chegar a um resultado ótimo global para cada perfil testado. Para os perfis do tipo U simples o valor de "D" foi fixado como zero, e não se utilizaram as restrições de relações dimensionais impostas pela norma ABNT NBR 14762:2010, que se relacionavam a essa dimensão.

No momento de análise das seções U e Ue, os parâmetros alterados no processo de otimização foram simplesmente os valores de comprimento destravado do perfil, a largura plana da chapa e a espessura do perfil, além de a dimensão do enrijecedor para perfis U ter sido mantido com valor de 0, mantendo assim como constante para ambos os tipos de perfis as propriedades do material escolhido. As variáveis modificadas durante o processo de otimização foram as dimensões da seção de cada tipo de perfil: para perfil U a dimensão "bw", que representa a altura total dos perfis e a dimensão "bf" que representa as abas dos perfis; e para perfis Ue também a dimensão "D" que representa a dimensão dos enrijecedores presentes nos perfis enrijecidos.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Perfis U

Para os perfis de seção U os dados recolhidos foram a capacidade resistente máxima de cada perfil e suas dimensões ótimas, relacionados esses dados tanto a espessuras dos perfis como também a larguras de chapas planas e comprimentos destravados dos mesmos.

Após organizados os dados, os mesmos foram relacionados levando em conta a espessura do perfil de cada análise e seu comprimento destravado, obtendo-se assim a relação "bf/bw" ótima para cada caso de perfil; em seguida, com a relação desses dados em mãos, foi possível determinar a média entre essas relações. A representação dessas médias pode ser vista na "Fig. 1".

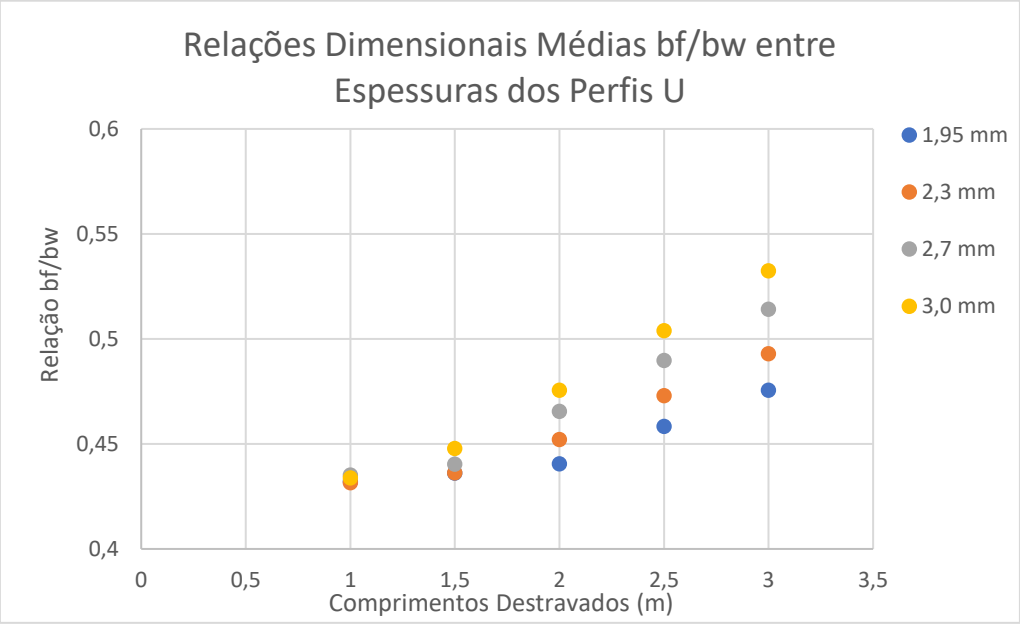



Figura 1. Relações Dimensionais médias bf/bw em relação as espessuras dos perfis U.

Conforme mostra a "Fig. 1", os dados que apresentam as melhores condições mostram uma relação bf/bw estando num intervalo de 0,43 a 0,53. Pode-se ver neste gráfico que para comprimento destravado de perfil de 1 metro as relações dimensionais em consequência à espessura quase não variam ficando em torno de 0,43; enquanto que para o comprimento destravado de perfil de 3 metros, essas relações tem uma variação que anda em uma faixa de 0,475 a 0,532, demonstrando assim um crescimento de acordo com o comprimento destravado e a espessura do perfil.

Desta forma pode-se obter resultados consistentes quando feita a relação entre as médias dos dados apresentados na "Fig. 1", assim tornando possível que com a média entre esses dados gerassem relações dimensionais ótimas gerais, dependendo apenas do comprimento destravado dos perfis conforme mostra a "Fig. 2".

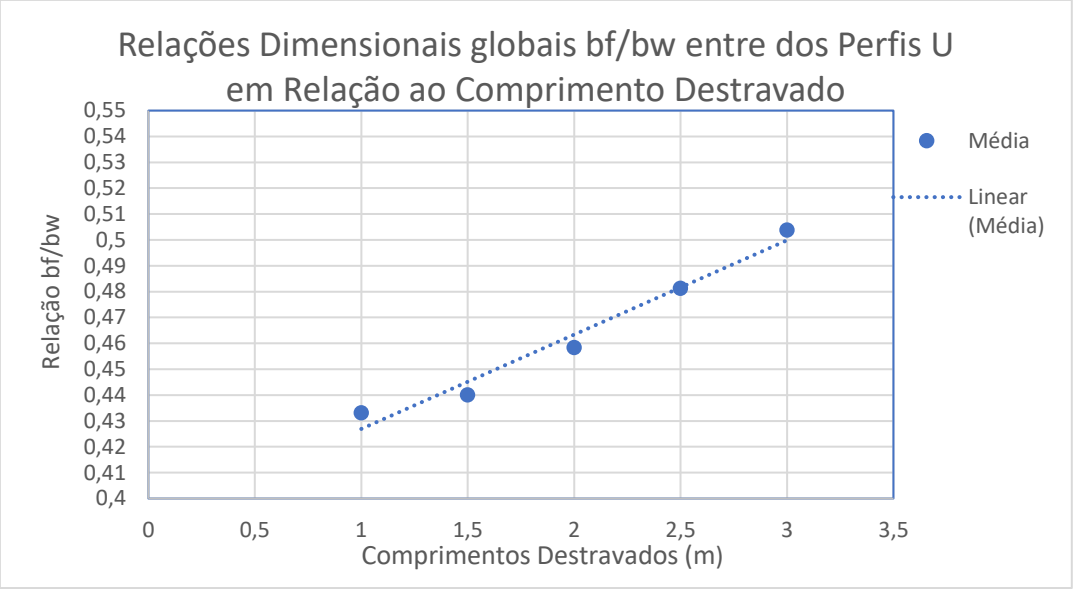



Figura 2. Relações dimensionais ótimas gerais de bf/bw em relação ao comprimento destravado dos perfis U.

Conforme mostra a "Fig. 2", os melhores resultados apresentam a relação bf/bw no intervalo de 0,43 a 0,51, crescendo de acordo com o comprimento destravado do perfil. Por exemplo, para perfis U simples com comprimento destravado de 1 metro, a relação dimensional ótima de bf/bw é em torno de 0,43; enquanto que com comprimento destravado de 2 metros a relação dimensional ótima de bf/bw é em torno de 0,46; e com comprimento destravado de 3 metros a relação dimensional ótima de bf/bw é em torno de 0,5, por exemplo.

Pode-se dizer, dessa maneira, que a melhor dimensão bf para perfis U simples que conduz a capacidade máxima a compressão para os tamanhos de chapa plana fixados, independentemente de sua espessura e para comprimento destravado de perfil entre 1 e 3 metros, está entre 0,43 e 0,5 bw.

### 3.2 Perfis U Enrijecidos

#### 3.2.1 Relações bf/bw

Para os perfis U enrijecidos, os dados coletados foram a capacidade resistente de cada perfil e as dimensões ótimas obtidas. Para os perfis Ue, diferentemente dos perfis U, os dados coletados também incluíram a dimensão "D", a qual para perfis de seção U era tida com o valor de zero.

Com os dados coletados, foram geradas então as relações dimensionais, levando em conta a espessura de cada perfil analisado e seu comprimento destravado, obtendo-se assim as relações "bf/bw" e "D/bw" ótimas para cada caso de perfis.

Para relações ótimas de bf/bw, foram feitas as relações primeiramente levando em conta as espessuras de cada perfil e o comprimento destravado dos mesmos, permitindo assim com que se pudesse gerar um gráfico para demonstração das medias obtidas das referidas relações.

Conforme representa a "Fig. 3", pode-se observar que as médias entre as melhores relações dimensionais para a relação bf/bw variou numa faixa entre 0,72 e 0,49, dependendo tanto da espessura quanto do comprimento destravado de cada perfil, quase que apresentando um nível decrescente conforme aumenta o comprimento destravado dos mesmos. Observa-se também que, quanto maior a espessura do perfil menor a variação dessas relações.

Pode-se observar na mesma figura, que a variação entre as relações é de menor dispersão levando em consideração as espessuras nos comprimentos destravados maiores. Nota-se que para comprimento destravado de 1 metro as relações variam entre 0,56 e 0,72 dependendo das espessuras dos perfis, enquanto que para comprimentos destravados de 2,5 metros essa mesma variação de relações está entre 0,5 e 0,52.

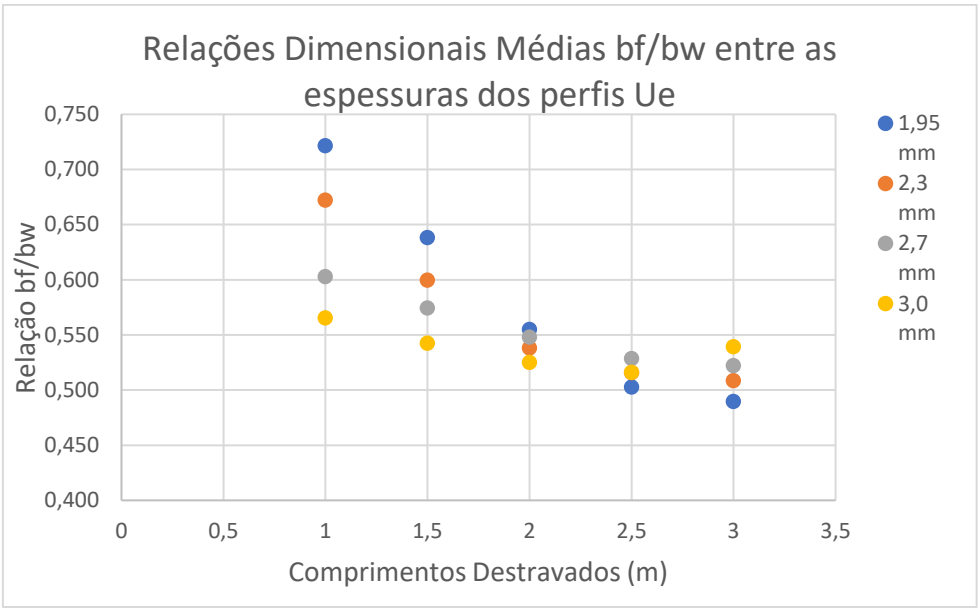



Figura 3. Relações dimensionais médias bf/bw em relação as espessuras dos perfis Ue.

Com as relações médias dimensionais representadas na "Fig. 3" foram geradas médias globais, que representam a relação média para que se tenha os melhores dimensionamentos sem levar em consideração as espessuras dos perfis, relações globais essas que estão representadas na "Fig. 4" a seguir.

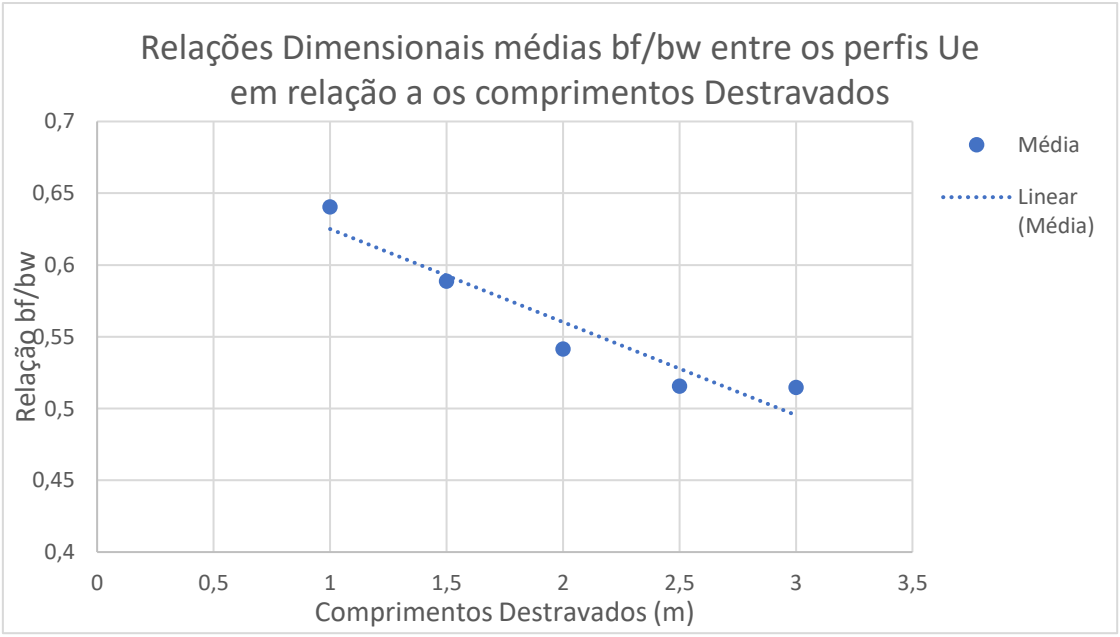



Figura 4. Relações dimensionais bf/bw médias em relação ao comprimento destravado de perfis Ue.

Como representado na "Fig. 4", pode-se observar que as relações dimensionais ótimas gerais de bf/bw variam de acordo com o comprimento destravado do perfil numa faixa entre cerca de 0,65 e 0,5, de modo decrescente em referência ao comprimento destravado do perfil. Por exemplo, para perfis Ue de comprimento destravado de 1 metro, a relação dimensional ótima geral de bf/bw é de cerca de 0,64, enquanto que para perfil com comprimento destravado de 2 metros esta relação fica em torno de 0,54, e para perfis de comprimento destravado de 3 metros em torno de 0,51.

Pode-se dizer então que a melhor dimensão de bf para perfis Ue, desconsiderando as espessuras dos perfis e para perfis de 1 a 3 metros de comprimento destravado, está entre 0,5 e 0,65 bw.

### 3.2.2 Relações D/bw

Da mesma forma que as relações bf/bw, as relações dimensionais D/bw para perfis Ue foram geradas a partir dos dados obtidos. A “Fig. 5” a seguir representa essas relações em relação às espessuras e comprimentos destravados dos perfis.

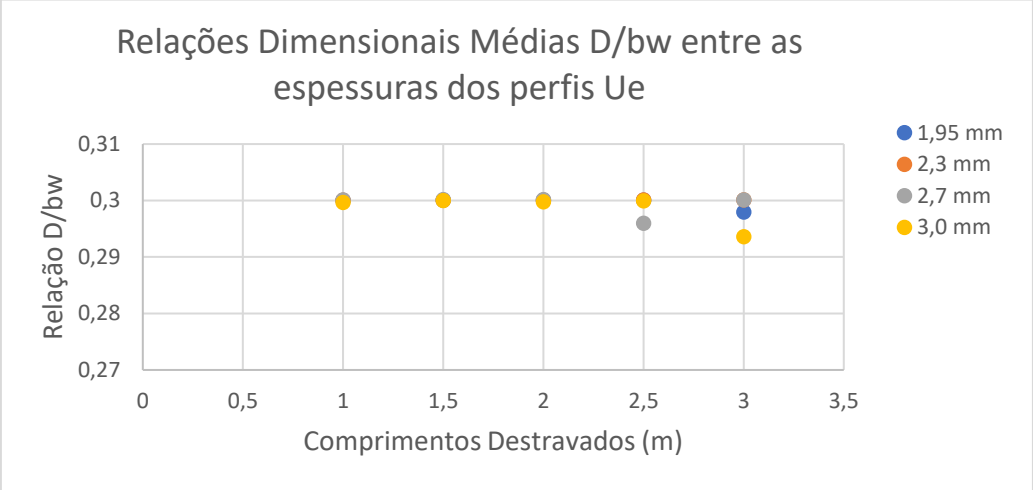



Figura 5. Relações dimensionais médias D/bw em relações as espessuras dos perfis Ue.

Conforme representado na “Fig. 5”, percebe-se que todas as relações médias D/bw ficaram em uma faixa entre 0,29 e 0,3, o que representa que as dimensões dos enrijecedores foram quase sempre a máxima possível determinada por norma, a qual restringe a relação máxima D/bw à 0,3. Com esses dados de relações médias, assim como os anteriores foram calculadas médias gerais para as relações ótimas de D/bw as quais estão representadas na “Fig. 6”.

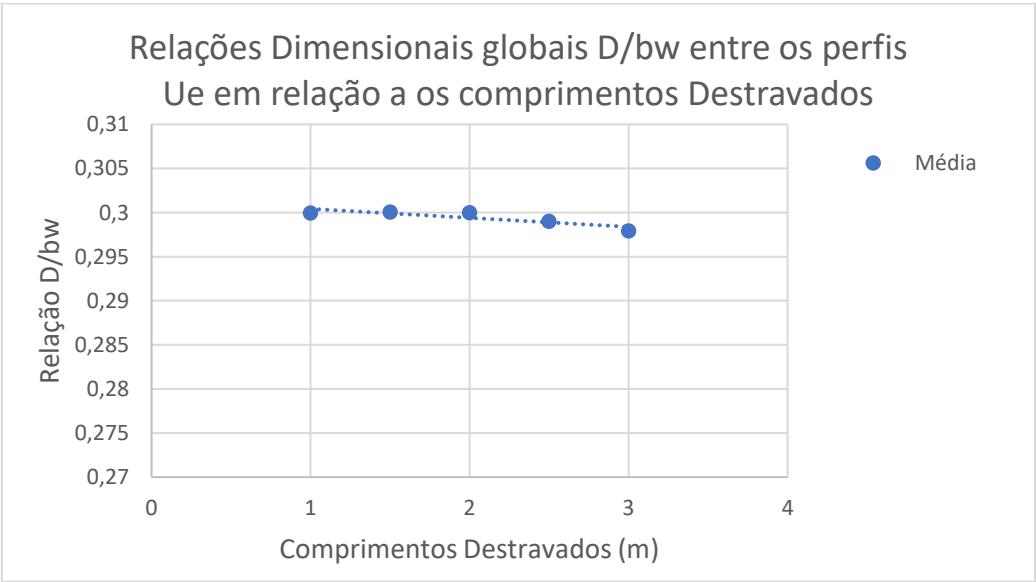



Figura 6. Relações dimensionais D/bw ótimas globais em relação ao comprimento destravado de perfis Ue.

Como pode-se observar a partir das “Fig. 5” e “Fig. 6”, é possível notar que as relações ótimas gerais variam entre 0,295 e 0,3; ou seja, o máximo limitado por norma. Isto indica que quanto maior o enrijecedor presente no perfil, maior sua capacidade resistente a compressão. Desta forma, pode-se considerar que para todos os casos a melhor dimensão de D para a máxima capacidade resistente de qualquer perfil, indiferente de sua espessura ou comprimento destravado, é de 0,3 bw.

## 4. CONCLUSÕES

Após o término da pesquisa e analisados todos os resultados obtidos, foi possível encontrar relações dimensionais de fácil utilização, que conduzem a resultados próximos do ótimo para o dimensionamento de perfis U e Ue, relações essas condicionadas a parâmetros variáveis de comprimentos destravados de perfis e espessuras dos mesmos.

Para perfis U simples foi possível constatar que as relações ideais de bf/bw para perfis de 1 a 3 metros de comprimento destravado estão na faixa de 0,43 a 0,5, gerando assim uma relação com uma boa precisão condicionada aos comprimentos destravados de perfis considerados.

No caso dos perfis Ue no entanto, nota-se que as relações bf/bw tem uma grande variação quando condicionadas a espessura e ao comprimento destravado dos perfis, ou seja, quando leva-se em conta os dois parâmetros essas variações podem ser consideráveis, no entanto, quando feitas as médias das espessuras e levado em conta apenas os comprimentos destravados dos perfis, as relações práticas ideais de bf/bw para perfis com comprimento destravado de 1 à 3 metros encontra-se no intervalo de 0,5 à 0,65, variando somente conforme seu comprimento destravado. Já para relação de D/bw, constatou-se que as relações ideais para todas as espessuras e comprimentos destravados do perfil foi de 0,3, o que faz com que se considere sempre a relação máxima limitada pela norma ao Método da Seção Efetiva.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Inovação Tecnológica (CITEC) do CESURG unidade Marau, pelo incentivo concedido.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio– Padronização. (2012).

CHAMBERLAIN PRAVIA, Zacarias M.; KRIPKA, Moacir. Otimização numérica e experimental de perfis U formados a frio sujeitos à compressão. Rem: Revista Escola de Minas, v. 61, n. 3, 2008.

GRIGOLETTI, Gladimir de Campos. Otimização via algoritmos genéticos de perfis U formados a frio submetidos à compressão utilizando o Método da Resistência Direta. 2008.

KÖKSOY, O.; YALCINOZ, T. Mean square error criteria to multiresponse process optimization by a new genetic algorithm. Applied Mathematics and Computation, v. 175, n. 2, p. 1657-1674, 2006.

## 7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.
The author are the only responsible for the printed material included in this paper.