

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS
MISSÕES - URI ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

ANDRÉIA MENIN LOHMANN

**APROVEITAMENTO DO LÚPULO RESIDUAL NA OBTENÇÃO
DE EXTRATOS DE INTERESSE PARA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

ERECHIM, RS - BRASIL

OUTUBRO , 2021

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS
MISSÕES - URI ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

ANDRÉIA MENIN LOHMANN

**APROVEITAMENTO DO LÚPULO RESIDUAL NA OBTENÇÃO
DE EXTRATOS DE INTERESSE PARA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da URI Erechim, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos, Área de concentração: Engenharia de Alimentos, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Erechim.

ERECHIM, RS - BRASIL

OUTUBRO, 2021

ANDRÉIA MENIN LOHMANN

**APROVEITAMENTO DO LÚPULO RESIDUAL NA OBTENÇÃO
DE EXTRATOS DE INTERESSE PARA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

**Dissertação apresentada como
quesito parcial à obtenção do grau de
Mestre, pelo curso de Pós-Graduação
em Engenharia de Alimentos da
Universidade Regional Integrada do
Alto Uruguai e das Missões – URI
Erechim.**

Erechim, 21 de Outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr. Alexander Junges
URI Erechim

Prof. Dr^a. Eunice Valduga
URI Erechim

Prof. Dr. Rogério Luis Cansian
URI Erechim

Prof^o. Altemir José Mossi
UFFS-Erechim

L833a Lohmann, Andréia Menin

Aproveitamento do lúpulo residual na obtenção de extratos de interesse para indústria
cervejeira / Andréia Menin Lohmann. – 2022.

58 f.

L833a Lohmann, Andréia Menin

Aproveitamento do lúpulo residual na obtenção de extratos de interesse para
indústria

cervejeira / Andréia Menin Lohmann. – 2022.

58 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Regional do Alto Uruguai e das
Missões, Erechim,
2022.

“Orientação: Prof Dr Alexander Junges, Profa Dra Eunice Valduga”

1. Lúpulo 2. Indústria cervejeira 2. Produção de cerveja 3. Redução de custos –

Dedico aos meus pais, Eda e Noberto, a eles todos os
créditos...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sido minha fonte de luz e ter estado sempre presente em minha mente independente dos altos e baixos durante toda essa jornada.

Agradeço ao meu chefe Valmor José Bandiera e a empresa Cervejaria Ágape pela ajuda com os materiais das análises o incentivo e o conhecimento profissional.

À minha cachorra Holly, que fez com que os períodos mais estressantes fossem amenizados através de brincadeiras, carinhos e lambidas.

Aos meus familiares e amigos pelo incentivo, compreensão, amizade e por contribuírem para que meu coração se sentisse sempre rodeado de amor e carinho.

Agradeço à URI Campus de Erechim, por fornecer a estrutura física e profissional necessária para que o projeto fosse desenvolvido com excelência.

Agradeço o meu orientador, Alexander Junges, por ter sido tão prestativo nas vezes que precisei e por compartilhar ideias e conhecimentos para que atingíssemos os melhores resultados. Agradeço, também, a minha co-orientadora, Eunice Valduga, por todos os ensinamentos, não só técnicos, de forma descontraída e amena.

Agradeço a todos os colegas de laboratório, pela troca de conhecimento e ajuda quando solicitada. Em especial a Patrícia Duarte e a Lucas Nascimento, que desde o primeiro instante estavam testando as metodologias e me ajudando nas análises,

Agradeço aos meus colegas de mestrado por estarem presentes e termos momentos agradáveis juntos,

Resumo da Dissertação apresentação ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

APROVEITAMENTO DO LÚPULO RESIDUAL NA OBTENÇÃO DE EXTRATOS DE INTERESSE PARA INDÚSTRIA CERVEJEIRA

Andréia Menin Lohmann

Outubro/2021

A cerveja é uma bebida consumida em todo o mundo; o Brasil em 2020 teve um auto crescimento em registros de microcervejarias. O lúpulo é um dos principais ingredientes para a produção desta bebida, pois ele é adicionado no amargor, aroma e até na fermentação. Para haver um reaproveitamento melhor deste ingrediente, realizou-se a extração do óleo e a torta que sobra nessa extração foi possível usar em outra etapa da produção da cerveja. O objetivo deste estudo foi avaliar o reaproveitamento da torta de lúpulo (Trub), oriunda das diferentes técnicas de extração (arraste a vapor, hidrodestilação, subcrítico e ultrassom), visando avaliar o amargor e posterior direcionamento na reutilização da torta de lúpulo para indústria cervejeira. Foi utilizado uma variedade de lúpulo de amargor Polaris. As extrações por arraste vapor na escala industrial foram de duas horas com 300kg/hora/vapor, a extração laboratorial foi realizada no equipamento tipo clewenger por 120min. A extração utilizando CO₂ subcrítico foi realizada nas condições de 100 bar e 7 °C. A extração por ultrassom foram variando a potência com frequências de 60,80,100 Htz e foram realizadas extrações em tempos diferentes de 30min, 60min, 120min, 180min. O amargor da torta foi determinado por espectrometria. 60 Hz e tempo 180 min, difere estatisticamente ($p < 0,05$) dos demais tempos de extração com uma perda maior de amargor. Já nas potências de 80 e 100 Hz, somente o tempo de 30 min foi o que diferiu ($p < 0,05$) no amargor dos demais tempos de extrações. A menor degradação dos compostos de amargor foi de aproximadamente 3,31%, no ensaio de US conduzido a 100 Hz e tempo de 120

min, quando comparamos as concentrações de amargor, sem a utilização dos métodos, a extração subcrítica ficou com uma perda menor de 5% do seu amargor inicial, isso se deve ao fato das condições de temperatura ser inferior aos demais extrações. Quando extraímos em equipamentos industriais, que utilizam arraste de vapor, Clevenger que realiza a hidrodestilação as temperaturas que foram aplicadas são de 98 °C. Com arraste de vapor, houve uma retenção de 20,65% desse amargor é extraído por hidrodestilação e 10,92%, isso significa que com a de arraste de vapor industrial obteve-se uma perda maior de seu amargor na torta comparando com os demais métodos analisados. Os rendimentos de óleo obtido em cada extração variou-se de 5 ml a 20 ml isso depende da quantidade de lupulo adiocnado em cada em equioamneto; em extrações com o ultrassom o óleo não tem uma destilação separada do mesmo assim não podemos visualizar o seu rendimento. A torta que foi obtida na extração por arraste de vapor, ela já vem sendo aplicada na indústria, mesmo com perdas significativas de 20%, o amargor em cervejas que foram utilizadas, como pilsen e lager, não houve alteração no amargor final do produto. Com base nesse estudo podemos ter uma economia na indústria cervejeira de até 35% ao mês.

Palavras-chave Amargor: lúpulo, extração, cerveja, redução de custo de processos

Dissertation Summary presentation to the Postgraduate Program in Food Engineering as part of the necessary requirements to obtain the Master's degree in Food Engineering

USE OF RESIDUAL HOPS IN OBTAINING EXTRACTS OF INTEREST FOR THE BEER INDUSTRY

Andréia Menin Lohmann

October/2021

Beer is a drink consumed all over the world Brazil in 2020 had a self-growth in microbrewery records and hops is one of the main ingredients for the production of this drink, as it is added in the bitterness, aroma and even in fermentation, weighing in for If there is a better reuse of this ingredient, we extract the oil and the cake that is left over from this extraction can be used in another stage of beer production. The aim of this study was to evaluate the reuse of hop cake (Trub), from different extraction techniques (steam drag, subcritical and ultrasound), in order to evaluate the bitterness and subsequent direction in the reuse of hop cake for the brewing industry. A Polaris bittering variety and hops were used. The extractions by steam drag on the industrial scale took two hours with 300kg/hour/steam, the laboratory extraction was carried out in a cleaveler-type equipment for 120min. The extraction using subcritical CO₂ was carried out under conditions of 100 bar and 7 °C. Ultrasound extractions varied the power with frequencies of 60,80,100 Hz and extractions were performed at different times of 30min, 60min, 120min, 180min. The pie bitterness was determined by spectrometry. 60 Hz and 180 min time, differs statistically ($p < 0.05$) from the other extraction times. At the powers of 80 and 100 Hz, only the 30 min time was the one that differed ($p < 0.05$) in the bitterness of the other extraction times. The lowest degradation of the bitter compounds was approximately 3.31%, in the US test conducted at 100 Hz and time of 120 min, when compared to the content of bitterness without any extraction method, which is 19.95%. 5% of its initial bitterness is retained, which is due to the fact that the temperature condition is lower than the other extracts, as the extraction time can be observed. When

extracted in industrial equipment, and Cleveger the temperature was 98 °C. In industry, there was a retention of 20.65% of this bitterness is extracted in Cleverger and 10.92%., this means that with the industrial steam drag, a greater loss of its bitterness in the cake was obtained, buying with the other methods analyzed, we can observe that even with significant losses we can use the industrial trot for the production of beer.

Keywords Bitterness: hops, extraction, beer, process cost reduction

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1- Crescimento das cervejarias nos últimos 20 anos | 20 |
| Figura 2 - Reação química da isomerização do α -ácido | 25 |
| Figura 3-Esquema de produção de cervejas em baixa | 27 |
| Figura 4- Esquema de produção de cervejas em alta fermentação | 27 |
| Figura 5- Esquema da flor de lúpulo (a), Glândulas de lupulina (b) na superfície exterior das brácteas..... | 30 |
| Figura 6- Frações das resinas do lúpulo e seus respectivos compostos..... | 31 |
| Figura 7- Mecanismo de isomerização de alfa-ácidos a iso-alfa-ácidos..... | 31 |
| Figura 8- Estruturas química das humulonas e lupolonas. | 32 |
| Figura 9- Diagrama de fases de componentes puros. | 35 |
| Figura 10- Divisão das Frequência das ondas mecânicas. | 37 |
| Figura 11-Etapas do desenvolvimento dos experimentos. | 39 |
| Figura 12 – Aspecto visual do lúpulo Polaris utilizado nos experimentos. | 41 |
| Figura13- Unidade de extração de fluido pressurizados. | 42 |
| Figura 14 – Aspecto visual do extrator industrial por arraste a vapor (a) utilizado nos experimentos (b)..... | 44 |
| Figura 15 – Aspecto visual do extrator cleveger | 44 |
| Figura 16- Aspecto visual da amostra seca..... | 45 |
| Figura 17- Etapas do preparo dos extratos para análise do amargor. | 45 |
| Figura 18 - Amargor (%IBU) da torta sem o tratamento e com o sistema ultrassônico 60, 80 e 100 Hz em diferentes tempos | 45 |
| Figura 19- Imagens do MEV das tortas de lúpulo: (A) sem extração;(B) Cleveger; (C) CO ₂ (D) Extração Industrial | 50 |
| Figura 20- Imagens Mev com Ponteia de 100 Htz (A) Sem tratamento (b)30 mim;(c) 60 mim;(d)120 mim;(e)180 mim..... | 51 |

Figura 21-Imagem de Mev com Potência de 80 Htz (A)Sem tratamento (B)30 mim;(C) 60 mim;(D)120 mim;(E)180 mim52

Figura 22- Imagens do MEV com Potência 60Htz (A) Sem Extração (B)30 mim;(C) 60 mim;(D)120 mim;(E)180 mim52'

Lista de Quadros

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Numero de registro de estabelecimento nas dez primeiras unidades da federação | 20 |
|---|----|

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Características organoléptica de diferentes variedades de lúpulos. | 33 |
| Tabela 2 – Compostos do Lúpulo Polaris..... | 34 |
| Tabela 3 – Análise de IBU na extração por Ultrassom | 46 |
| Tabela 4 – Análise de IBU para as demais Extrações. | 47 |
| Tabela 05 – Analise de amargor (IBU%) das cervejas utilizando a torta residual do lúpulo em comparativo coma utilização do lúpulo em palet | 48 |

Sumário

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Introdução..... | 16 |
| 2 | Objetivos..... | 17 |
| 3 | Revisão bibliográfica | 18 |
| 3.1 | História | 18 |
| 3.2 | Aspectos Gerais do Mercado Brasileiro de Cervejas | 20 |
| 3.3 | Processamento da cerveja | 22 |
| 3.3.1 | Moagem..... | 22 |
| 3.3.2 | Brassagem..... | 22 |
| 3.5.3 | Filtração..... | 23 |
| 3.5.4 | Fervura | 24 |
| 3.3.5 | Resfriamento | 25 |
| 3.3.6 | Aeração..... | 26 |
| 3.5.7 | Fermentação | 26 |
| 3.3.8 | Maturação..... | 28 |
| 3.3.9 | Carbonatação | 28 |
| 3.4 | Características e propriedades do lúpulo..... | 29 |
| 3.7 | Análise do Amargor | 34 |
| 3.8 | Métodos de Extração..... | 34 |
| 3.4.1 | Extração com Fluido supercrítico..... | 35 |
| 3.4.2 | Extração por Arraste de vapor | 36 |
| 3.4.3 | Extração por Ultrassom..... | 37 |
| 3.9 | Análise por MEV | 38 |
| 3.10 | Aplicação na Produção..... | 38 |
| 4 | Material e métodos..... | 39 |
| 4.1 | Seleção da variedade do lúpulo | 39 |
| 4.2 | Métodos de Extração..... | 40 |
| 4.2.1. | Extração Subcrítica | 40 |
| 4.2.2. | Extração por Ultrassom | 41 |
| 4.2.3. | Extração por arraste de vapor..... | 41 |
| 4.2.3.2 | Escala Laboratorial | 43 |
| 4.3 | Análise do Amargor | 44 |
| 4.4 | Morfologia da torta seca - Microscopia eletrônica de varredura (MEV)..... | 45 |
| 4.5 | Análise estatística..... | 45 |
| 5 | Resultados e discussões..... | 46 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.1.1. | Extração por Ultrasson | 46 |
| 5.1.2. | Análise de Extrações Cleveger, Industrial e Supercrítica..... | 47 |
| 5 | Morfologia da torta de lúpulo..... | 49 |
| 6 | Conclusão..... | 52 |
| 7. | Sugestões de trabalhos futuros | 52 |
| 8. | Referências | 53 |

1 Introdução

Na produção de cerveja utiliza-se de quatro principais ingredientes, a água, o malte, o lúpulo e a levedura. As características como aroma e amargor de uma cerveja estão principalmente relacionadas à quantidade e qualidade da dosagem e do tempo de adição do lúpulo, bem como a tecnologia geral de fabricação de cerveja aplicada (RETTBERG; BIENDL; GARBE, 2015). Os lúpulos de amargor são adicionados na produção de cerveja eles são adicionados no mosto, normalmente, na primeira etapa da fervura deste, nesse momento só são utilizados seus α -ácidos ou isohumulonas responsáveis pelo amargor (KEUKELELEIRE, 2000; HOUGH, BRIGGS, STEVENS & YOUNG, 2012). Além dos lúpulos de amargor, outros lúpulos também podem ser adicionados em várias etapas de produção, como na fervura, fermentação e no *dry hopping* (adição de lúpulo), desta forma, resultando na elevação dos custos de produção da cerveja. O preço do lúpulo pode variar em função dos países de origem que ele é produzido e da safra, esse valor pode chegar de R\$ 138,00 a 700,00 por kg (LNF AMÉRICA LATINA, 2021).

Considerando o fato do Brasil ser o terceiro maior produtor de cerveja do mundo com um total de 1.383 cervejarias cadastradas com um crescimento de 14,4% (BRASIL, 2020) e, conseqüentemente, tendo uma demanda considerável de matéria-prima, torna-se imprescindível o desenvolvimento de pesquisas que visem a extração de compostos residuais de amargor do subproduto do lúpulo.

O método de extração mais comumente utilizado é o de arraste a vapor, entretanto, devido às altas temperaturas utilizadas, pode ocorrer degradação térmica de determinados componentes do óleo/extrato, o que diminui a qualidade do produto final. Outro método utilizado é a extração com solventes orgânicos (diclorometano, tolueno, hidrocarbonetos clorados, etc (QUEIROZ, COLLINS, JARDIM, 2000). Entretanto, como esses solventes geralmente, não são de grau alimentício, dependendo até podem ser tóxicos, esse processo acarreta custos para removê-los do extrato e da torta. Também, podem ser utilizadas a extração sub- ou supercrítica com CO₂ e o sistema ultrassônico como alternativas aos processos convencionais mencionados.

2 Objetivos

O objetivo deste estudo foi avaliar o reaproveitamento da torta de lúpulo (*Trub*), oriunda das diferentes técnicas de extração (arraste a vapor, subcrítico e ultrassom), visando avaliar o amargor e posterior direcionamento na reutilização da torta de lúpulo para indústria cervejeira.

Os objetivos específicos podem ser descritos como sendo:

- Avaliar o amargor das tortas residuárias após extração das tortas ; por diferentes técnicas (arraste vapor, subcrítico e ultrassom);
- Avaliar a potencialidade de aplicação as tortas serão aplicadas em cervejas dos estilos lager e pilsen;

3 Revisão bibliográfica

Neste item foi abordado a fundamentação teórico para o desenvolvimento deste trabalho, apresentando tópicos sobre a história da cerveja, fabricação, características do lúpulo, tal comparativo de forma de extração e aproveitamento da torta de extração.

3.1 História

Quando realizaram as escavações arqueológicas do século XIX que os registros levem a crer que a cerveja se originou no Oriente Médio e no Egito, pela presença de resquícios de cevadas em vasos localizados nas tumbas dos faraós, mais sua origem exata é desconhecida. Também há registro que uma bebida semelhante à cerveja era ofertada a seus Deuses como remédio, por apresentar uma sensação de euforia, levou o ser humano criar uma relação entre a bebida e aspectos místicos e religioso. Tais registros de documentos datados de 6000 A.C. onde tratavam a cerveja como uma moeda de troca, sendo ela utilizada como pagamento de salários (MORADO, 2017).

O trabalho de Kuck (2008), relata que no Egito a cerveja ganhou estado de bebida nacional, bem como criou várias crenças em torno da bebida. A fermentação era espontânea e não tinha nenhum conhecimento básico sobre microbiologia que temos hoje em dia, assim as reações fermetativas eram visitas como algo divino. Vista também que era mais saudável que água, pois acreditava-se que sem saberem purificavam o líquido de germes e parasitas, devida ao processo de fabricação que acaba eliminado as contaminações presentes na água.

Na idade média a bebida era exclusiva produção caseira, sendo a mulheres responsáveis pela produção de cerveja caseira, que por ser uma bebida barata e acessível era servida para toda a família. Em meados do século VI, os mosteiros foram de grande importância para melhoria das técnicas de produção e de receitas que contribuíram para a melhoria da cerveja. Pelo fato que os monges dominaram a leitura, foram grandes estudiosos desta bebida e os primeiros produzir em grande escala. O imperador Carlos Magno teve sua

importância na história por consolidar a mesma como uma mercadoria.(SILVIA, 2019).

Nos anos de 1645 a 1650 o território denominado pela indústria da cerveja, atingia as ilhas britânicas até o norte da Itália, com isso a indústria cervejeira adquiriu um estado social e político, tendo que organizar e se modernizar. Com o consumo estava alto pela bebida no século seguinte, a indústria cervejeira teve grandes desafios, pois o preço do cereal tornou-se elevado pelo grande consumo, aumentando a concorrência e diminuindo os lucros dos produtores (MORADA, 2017).

No Brasil a cerveja começou a ser comercializada após a vinda de comerciantes europeus que se instalavam no país, no entanto o início da produção não tem um registro preciso, o único indício confirmado é um anúncio de jornal sobre a venda do produto finalizado na data de 27 de outubro de 1836. A produção teve um aumento a partir de 1860 e tendo uma decaída na primeira guerra mundial, pois não era possível importar matéria-prima o malte e o lúpulo. Assim, os cervejeiros passaram a substituir por arroz, milho e trigo diluídos no produto (SILVA et. al, 2016).

Após esse período houve alguns investimentos de empresários alemães, o crescimento nesta área, as cervejas produzidas em território nacional devem as suas características sensoriais adequadas para a realidade atual, um paladar mais leve. Com esta mudança de fabricação e o crescimento das indústrias nacionais, que apresentam qualidades semelhante e com um preço acessível (PASSOS, 2021).

Em microcevejarias a produção da bebida, tem uma história recente a maioria foi formando nos meados dos anos 2000, concentradas na região sul, sudeste do país. Isso ocorreu devido a maior disponibilidade de ingredientes e a crescente busca do consumidor por produto de maior valor agregado com uma qualidade superior, que apresentam blend de ingredientes variados diferenciados para paladares cada vez mais aguçados, as microcevejarias começaram a ter um destaque maior no mercado nacional, mesmo com domínio de grades cervejarias. (PASSOS, 2021).

3.2 Aspectos Gerais do Mercado Brasileiro de Cervejas

O mercado de produção de Bebidas no Brasil está entre os três maiores do mundo, ficando atrás da China e os Estados Unidos. (SINDICERV, 2017). Conforme o Ministério da Agricultura e Abastecimento que regulariza e inspeciona os estabelecimentos em 2020 pela primeira vez todos os estados do país registaram ao menos uma cervejaria, com abertura da primeira fábrica no Acre. Esses dados constam no anuário do cervejeiro divulgado agora no mês de abril 2021. Em 2020 foram registradas cerca de 200 novas cervejarias e outras 30 cancelaram seus registros o que representa um aumento de 174 cervejarias em relação ao ano anterior um aumento de 14,4% (REVISTA BEER ART, 2021).

De acordo com dados os estados que obtiveram maior crescimento no setor foram os estados de Piauí com 200%, Paraíba com uma alta de 60% e o estado com maior registro de cervejarias continua sendo São Paulo que teve um crescimento de 18,2%. Neste anuário, Santa Catarina possui a maior densidade cervejeira de 41.443 habitante por cervejaria registrada. E comparando a densidade de habitantes por município o Rio Grande do Sul, destaque para cidade de Santo Antônio do Palma com 1.062 habitante por cervejaria registrada (Brasil, 2021). No quadro abaixo podemos visualizar os dez primeiros colocados com cervejarias registradas no Ministério da Agricultura.

Quadro 1: Numero de registros de estabelecimento nas dez primeiras unidades da federação.

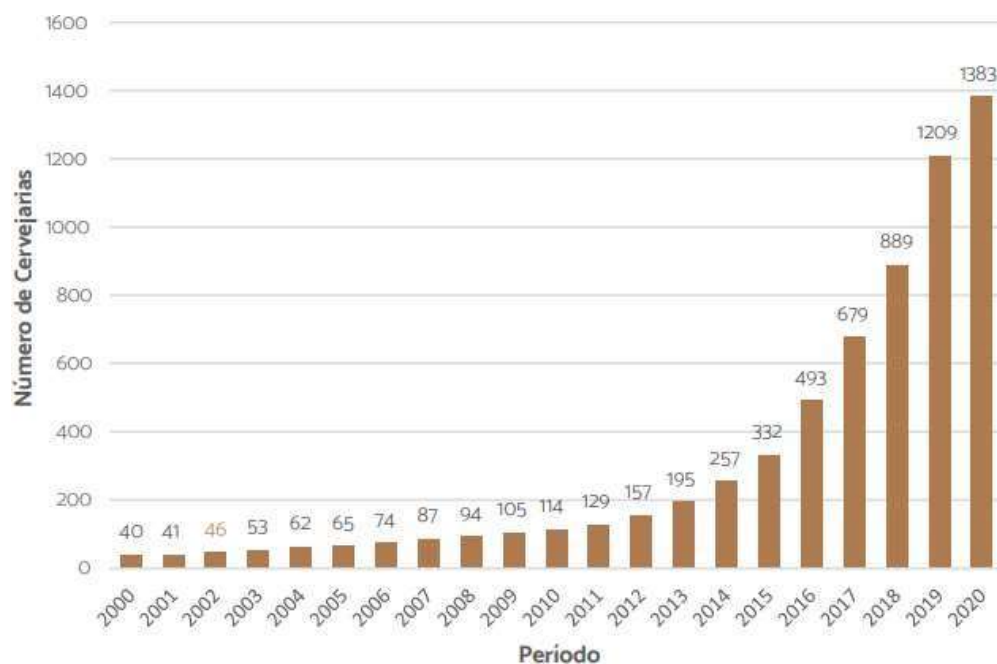
| Nº | UF | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | Crescimento médio |
|----|---------------------|------|------|------|------|-------------------|
| 1 | São Paulo | 124 | 166 | 241 | 285 | 32,4% |
| 2 | Rio Grande do Sul | 142 | 184 | 236 | 258 | 22,4% |
| 3 | Minas Gerais | 87 | 116 | 163 | 178 | 27,7% |
| 4 | Santa Catarina | 78 | 104 | 148 | 175 | 31,3% |
| 5 | Paraná | 67 | 93 | 131 | 146 | 30,4% |
| 6 | Rio de Janeiro | 57 | 62 | 78 | 101 | 21,4% |
| 7 | Espírito Santo | 11 | 17 | 34 | 41 | 58,4% |
| 8 | Goiás | 21 | 25 | 28 | 33 | 16,3% |
| 9 | Bahia | 7 | 12 | 20 | 26 | 56,0% |
| 10 | Rio Grande do Norte | 6 | 9 | 20 | 20 | 57,4% |

Fonte: Brasil, 2021).

O mercado cervejeiro manteve crescimento acelerado nos últimos anos no Brasil. Os dados publicados no Anuário da Cerveja no Brasil 2019 alcançaram-se a marca de 1.209 cervejarias em 26 unidades da Federação, somente no estado do Acre não possui uma cervejaria registrada. Em 2018, quando o país

atingiu a marca de 889 cervejarias, foram registrados 210 novos estabelecimentos, sendo que a cada dois dias uma cervejaria abria as portas no Brasil. Já em 2019 o crescimento foi ainda maior, foram 320 novas cervejarias registradas, ou seja, quase uma nova cervejaria por dia no país. A seguir (Figura 1) tem-se o crescimento nos últimos vinte anos de cervejarias registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Estabelecimento – MAPA (MAPA, 2019).

Figura 1- Crescimento das cervejarias nos últimos 20 anos



Fonte: Brasil (2021)

O crescimento no número de estabelecimentos se mostra constante nos últimos vinte anos, com uma taxa média de 19,6% de crescimento por ano. Recentemente, esta taxa de crescimento cresceu, sendo de 26,6% se analisado o período dos últimos 10 anos e 36,4% no período dos últimos 5 anos (MAPA, 2019).

No estado do Rio Grande do Sul até no ano de 2021 concentrava-se o estado com maior registro de cervejaria com cerca de 230 um aumento de 28,99% (MAPA, 2021).

3.3 Processamento da cerveja

A produção de uma cerveja envolve alguns importantes passos necessários para resultarem em um produto de qualidade exigida por seu público consumidor. A seguir são apresentadas as principais etapas do processo de produção da cerveja.

3.3.1 Moagem

Essa etapa é responsável pela quebra do grão de malte, normalmente para exposição do endosperma do grão, que desta forma melhor solubiliza os açúcares e proteínas presentes quando em contato com água, durante o processo da brasagem (KUCK, 2008).

Um dos cuidados que devemos ter na moagem é a granulometria final do malte, pois o mesmo deixando a farinha muito final, ocorre a formação de mosto compacto que prejudica no processo de filtração e o rendimento no processo final da cerveja, desta forma deve-se deixar a casca do grão mais íntegra para facilitar a passagem do líquido do momento de fazer a filtragem também é importante que a moagem não seja muito grosseira, para que o processo de hidrólise ocorra facilmente, pois conseguimos aumentar a área de contato amiláceos presentes (ROSA e AFONSO, 2015).

3.3.2 Brassagem

Nesta etapa é realizada a adição de água no malte previamente moído, que tem como função a hidratação e a ativação das enzimas presentes nos grãos, para transformação amido em açúcares fermentescíveis, sendo esta responsável por quebrar o material celular em cadeias menores, ou seja a transformação do amido em maltose e outros açúcares, que serão assimiladas de forma mais simples pela levedura no processo de fermentação. Devida a ocorrência de várias mudanças químicas e físicas, essa etapa é uma das mais complexas (CARVALHO, 2007).

Para que efetivamente as transformações ocorram de forma desejada devemos manter temperatura, pH e substratos adequados para atender a necessidades das reações químicas, para uma melhor mosturação temos as

rampas de temperaturas por determinado período, para que os parâmetros desejados sejam atingidos (DANIELS, 2000).

Para cervejas mais leves de baixa fermentação normalmente inicia-se em temperatura de 45 °C, para que proteínas e glucanases se quebrem em cadeia de proteínas e glucanos para então passarem para sacarificação na faixa de 60 °C, nessa variação de temperatura de 90% dos amidos não solúveis atingem sua máxima solubilidade (COSTA, 2014).

Temperaturas em torno de 67 a 72 °C, aumentam a produção das dextrinas, torando a bebida mais doce e encorpada, por apresentarem açúcares que não são fermentadas pela levedura, para obter açúcares como a maltose, que podem ser fermentados completamente pelas leveduras que darão uma característica mais seca para o produto, a temperaturas adequadas para isso é de 62 a 66 °C, por período de uma hora para evitar a desnaturação das enzimas a temperatura não deve ser superior a 72 °C (CARVALHO, 2007).

As principais enzimas responsáveis pela transformação do amido em açúcar é a fitase que conseqüentemente ela irá diminuir o pH da mostura, de 5,5 a 5,0, realizado a hidrólise de glucanos e auxiliando na liberação do amido por meio das amilopectinas em cadeia reta de amilase, a beta glucanase tendo o pH ideal em 4,5 a 5,5, fazendo a hidrólise de glucanos e auxiliando a liberação de amido, esse processo ocorre entre 35 a 45 °C, a proteinase que degrada grandes proteínas responsáveis pela turvação do líquido a solubilização de proteínas insolúveis, β amilase que tem pH ideal 4,5 a 5,5, e temperatura de 55 a 65 °C convertendo o amido em maltose e a amilase que tem a função a transformação de amido em dextrinas, com temperatura de atuação entre 68 a 72 °C e faixa ideal de pH 5,3 a 5,7 (TOSTES, 2015).

3.5.3 Filtração

Segundo Bandinelli (2015), ao final da mosturação o mosto é encaminhado para etapa da filtração, para a retirada do bagaço. Sendo esse importante para a qualidade da cerveja de modo que substancia presentes como os polifenóis a grande quantidade de enzimas e proteínas, podem de certa forma

prejudicar a formação de sabores e na qualidade visual da cerveja (MATOS, 2011).

Nesse momento que as temperaturas do mosto estejam em 75 °C, desta forma a viscosidade desempenha um papel importante favorecendo a separação dos resíduos a atividade enzimática é cessada, não ocorre extração de composto provenientes da casca do malte, como taninos e o desenvolvimento bacteriano diminui (JORGE, 2004).

3.5.4 Fervura

A fervura do mosto é uma das etapas mais importantes no processo de produção de cerveja, tem um tempo de duração de 90 a 120 min, essa variação pode depender do estilo de cerveja que seja produzido, tem como objetivo diversas características essenciais para o produto final, dentre eles uma importante tarefa é evitar que ocorram contaminações, esse período de tempo em que o mosto permanece em alta temperatura faz com que microrganismos sejam eliminados. Assim sendo, evita que os mesmos possam passar para etapa de fermentação gerando problemas como competição no meio ou geração de metabólicos que possam alterar as características organolépticas da bebida (SCHUH, s.d.).

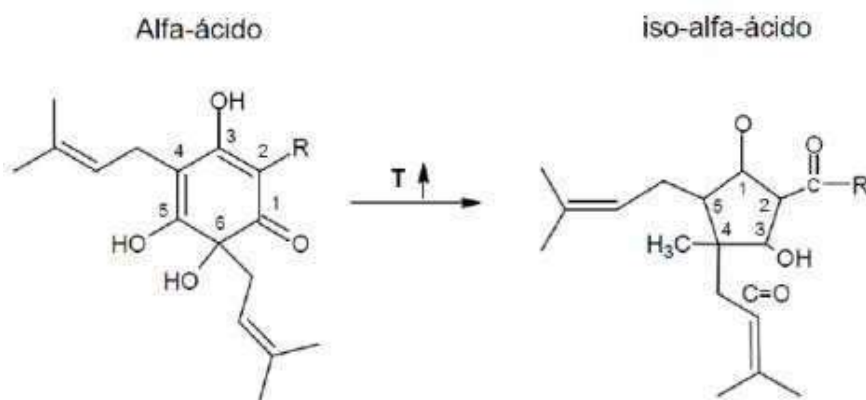
No processo de fervura podemos notar que um percentual do líquido evapora, conseqüentemente há um aumento da densidade do mosto, logo quanto mais tempo de fervura maior será a densidade da bebida, o tempo de fervura também serve para evaporação de substâncias indesejadas como, por exemplo substâncias que possivelmente que possam trazer sabores ou odores indesejáveis na bebida (SILVA, 2005).

Ocorre o processo de estabilização físico-química que consiste na desnaturação de proteínas de cadeia muito grande que são floculadas e posteriormente retiradas, justamente como polifenóis, enzimas, taninos e outros compostos indesejáveis. A formação de melanoidinas, sendo a ligação entre aminoácidos e açúcares simples também ocorre, este processo contribui para formação de aroma, acidificação e cor da bebida (MATOS, 2011).

O responsável pelo aroma e amargor da cerveja, se dá no processo de fervura pela isomerização dos α -ácidos em iso- α -ácidos conforme a Figura 2, devido à elevação da temperatura nesta etapa.

Junto ao processo de fervura ocorre a lupulagem que é a adição do lúpulo do mosto, é realizado em três etapas, no início e no meio da fervura adiciona-se o lúpulo responsável pelo amargor da bebida, sendo que quanto mais tempo ele ficar fervendo mais compostos de amargor serão liberados. Já para a caracterização do aroma o lúpulo deve ser acrescentado de 10 a 15 min, antes do término da fervura, pois os compostos aromáticos são mais voláteis e podem ser perdidos se deixando muito tempo em alta temperatura, conforme a figura 02 podemos observar a isomerização do α -ácido e o iso- α -ácido. (MATOS, 2011).

Figura 2 - Reação química da isomerização do α -ácido



Fonte: Matos, (2011).

Ocorrem alguns outros fenômenos como a caramelização de açúcares, aumento na intensidade da coloração do mosto, há uma formação de um corpo de fundo isso se deve a coagulação das proteínas também são formadas nesta etapa (SILVA, 2005).

3.3.5 Resfriamento

O processo de resfriamento do mosto se torna necessário, pois quando adicionamos a levedura a mesma deve manter suas propriedades desejadas para o processo e não desnaturar para evitar uma contaminação como por dimetilsulfureto. A Levedura deve ser introduzida no processo quando as temperaturas do mosto

atingirem de 12 °C a 29 °C, o resfriamento deve ocorrer de forma rápida para evitar a contaminação por dimetilsulfureto, para que proteína presente possam coagular e decantar com o restante dos sedimentos presentes no fundo do equipamento (PINTO, s,d).

3.3.6 Aeração

As leveduras que estão presentes no mosto cervejeiro necessitam de oxigênio para a reprodução e consumo de açúcares presentes, portanto, o mosto recebe uma aeração, que pode ser realizado com ar estéril ou oxigênio, que estimula o crescimento das leveduras no início da fermentação (KICK, 2008).

Enquanto o mosto estiver com uma temperatura elevada a adição de oxigênio prejudica a cerveja, causando oxidação do meio e a formação de aroma e sabores indesejados, já quando o mosto está resfriado a oxigenação é favorável, pois a levedura assimila rapidamente o oxigênio e assim a cerveja não oxida tão facilmente (SENAI, 2014).

3.5.7 Fermentação

No processo da fermentação alcoólica ocorrem duas etapas fundamentais para a transformação dos açúcares em álcool, na primeira etapa as leveduras multiplicam-se de 2 a 6 vezes, esta etapa é chamada de aeróbia, justamente pela presença de oxigênio no mosto o que beneficia o crescimento microbiano, há o acúmulo de ácidos graxos insaturados e esteróis, os quais são essenciais para o crescimento da célula (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

No segundo momento ocorre a fase anaeróbia, que tem duração de 7 a 12 dias dependendo do estilo da cerveja a ser produzido, obtendo-se o mosto fermentado em alta concentração de gás carbônico, como este processo é exotérmico para uma boa fermentação deve-se manter a temperatura em torno de 8 a 12 °C conforme descrito na Figura 3. A fermentação com temperaturas mais baixas ajudam no prolongamento da mesma, proporcionado a formação de compostos característicos pelo sabor, aroma, também pela estabilização da cerveja (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Existem duas principais espécies de leveduras mais utilizadas para bebidas fermentáveis *Sacharomyces Cerevisia* e a *Saccharomyces Uvarum*, desta forma caracterizando dois tipos de fermentação, a fermentação alta que são cervejas fermentadas em temperaturas de 18 a 22 °C (Figura 4) e as leveduras permanecem em cima do tanque, com duração de 5 a 8 dias que são dos estilos Ale, as bebidas de baixa fermentação com temperaturas de 7 a 12°C (Figura 3) e a leveduras permanecem no fundo do tanque assim produzindo mais oxigênio (ROSA, 2015).

Figura 3-Esquema de produção de cervejas em baixa fermentação.



Fonte: Beer Chef Brasil

Figura 4- Esquema de produção de cervejas em alta fermentação.



Fonte: Beer Chef Brasil

No processo ocorre também a diminuição do amargor, a clarificação da cerveja, atenuação do extrato, diminuição do pH, diminuição do oxigênio dissolvido, alteração dos compostos proteico reduzido cerca de 20% através da precipitação, assimilação e coagulação do fermento (MATOS, 2011).

As técnicas desta etapa, consistem em uma quantidade de levedo oriunda do processo fermentativo bem como o consumo quase total dos açúcares fermentescíveis. O tempo de operação varia de acordo o estilo de cerveja e conseqüentemente, depende do grau alcoólico que se deseja (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

3.3.8 Maturação

A maturação geralmente ocorre em temperaturas menores que a da fermentação agora os açúcares, em sua maioria estão metabolizados e transformados em álcool etílico, álcoois superiores, dióxido de carbono, ácido acético, ésteres e glicerol, nesse momento os processos de leveduras ainda estão sendo executados, como, por exemplo o consumo de alguns açúcares de cadeia maior e a absorção de subprodutos oriundos de fermentação (ABOUMRAD; BARCELOS, 2011).

Ela também auxilia na clarificação final da cerveja, pois nesta etapa ocorre a sedimentação das leveduras e complexos proteicos e a separação de taninos que podem afetar no aumento da turvação em baixas temperaturas, o sabor torna-se mais adocicado e diminui de forma sutil e constante no decorrer do processo de envelhecimento, sendo que estes processos citados não dependem da temperatura que se encontram (MATOS, 2011).

3.3.9 Carbonatação

A carbonatação pode ser, dentro do próprio recipiente de armazenamento de cerveja, aproveitando o gás da fermentação das leveduras remanescente na bebida, que serão induzidas a produção devida à adição de uma dosagem de açúcar na própria garrafa (SANTOS, RIBEIRO, 2005).

Outro método é comumente utilizado para processo de envase da cerveja, conhecido como carbonatação forçada, neste método a formação proveniente de leveduras não é aproveitado, então a bebida recebe uma carga controlada, de pressão de CO₂ em condições de temperaturas controladas, posteriormente deixado em repouso para que ocorra a solubilização do gás (TOSTES, 2005).

3.4 Características e propriedades do lúpulo

O lúpulo pertence à família *Cannabis*, *Humulus* e Planta *Humulus*. Entre os primeiros registros com base em dados históricos O Império Romano em 23 e 79 DC, por Plínio, o Velho Classifique-o como lúpulo e chame-o de "o lobo no mato" em seu livro, Alguns anos depois, seu sobrinho Plínio Jr. continuou a estudar essa planta (WECKEL, 2021).

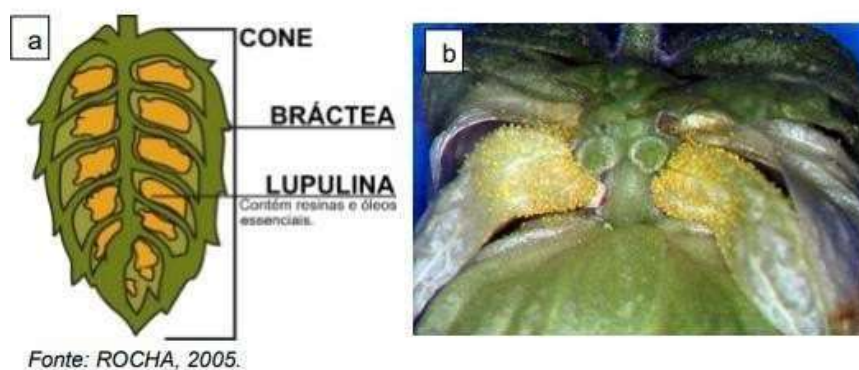
De acordo com registros históricos, o lúpulo foi cultivado pela primeira vez em AD Na região de Hallertau da Alemanha em 736 DC, este é o primeiro registro usado na Alemanha A produção de cerveja aparece no livro *Physica sive Subtilitatum* das freiras beneditinas da Alemanha. Hildegard von Bingen (1098-1179). Seu trabalho na indústria de produção de cerveja começou no final do século passado no século 9, em mosteiros e pequenos ofícios, tornou-se popular ao longo do tempo (MORADO, 2017).

Com nome científico *Humulus lupulus*, o lúpulo é uma trepadeira que origina cones masculinos e femininos, onde os femininos são mais almejados, pois possuem mais resinas. A adição de lúpulo à cerveja tem como objetivo dar aroma e amargor à cerveja, além de ser um excelente conservante natural. Existem muitas variedades de lúpulo, algumas das quais fornecem amargor e aroma, e outras apenas amargor ou aroma. Escolha a variedade de acordo com estilo de cerveja a ser produzido e seu uso. Além disso, não altera o teor de álcool ou o corpo (HIERONYMUS ,2021). Para a fabricação de cerveja a parte mais desejável da flor apenas as flores não fertilizada da planta fêmea do lúpulo, pois nelas encontramos em grande quantidade lupulina , que são as resinas polifenóis e os óleos essenciais (SILVA, BOGUZ, 2019)

Em termos de composição química apenas nas flores não polinizadas das plantas fêmeas do lúpulo (Figura 5) que é possível encontrar quantidade suficiente de resinas amargas, ricas em humulonas e lupolinas (α -ácidos e β -

ácidos, respectivamente) compostos responsáveis pelo amargor, que é fundamental para o equilíbrio do sabor e para sensação de saciedade que a cerveja nos proporciona (MALOWICKI & SHELLHAMER, 2005).

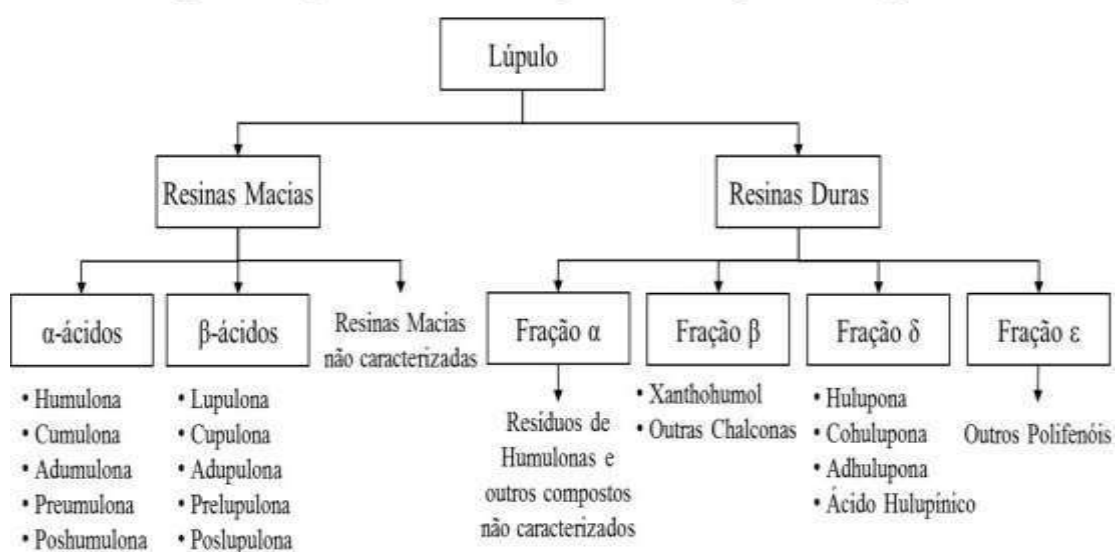
Figura 5- Esquema da flor de lúpulo (a), Glândulas de lupulina (b) na superfície exterior das brácteas.



Fonte Rocha (2005)

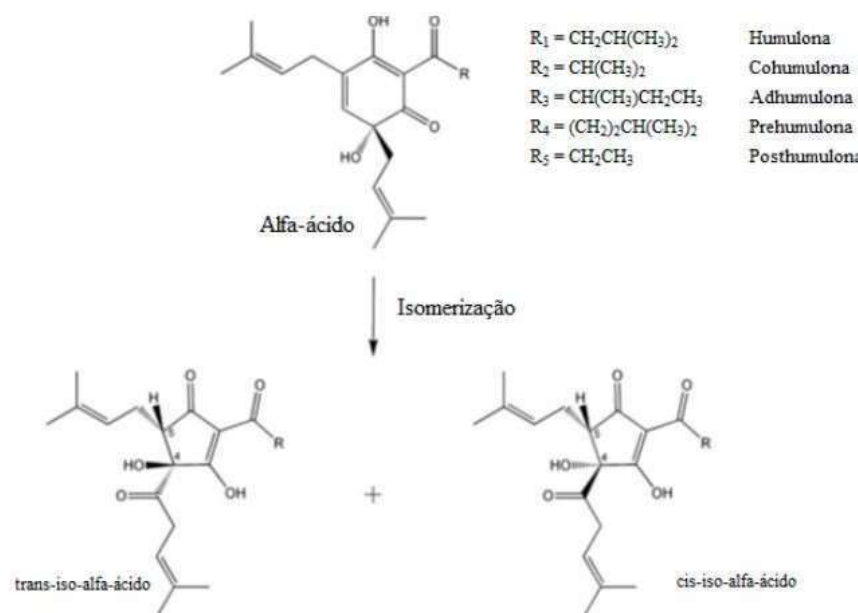
Na matéria seca, os alfa-ácidos podem representar 2% a 15% do peso da matéria seca de lúpulo. O principal componente do α -ácido é a alfa- ahumulona, cohumulone, humulone, prehumulone e posthumulone, mais ênfase no primeiro, E pode representar até 15% e o valor da cohumulone e humulone, que pode obter uma concentração de 20% a 50% do ácido total na Figura 6 apresenta um esquema resumindo dos principais constituintes das resinas do lúpulo. Os compostos têm a mesma estrutura química, a única diferença está em seus radicais livres. A solubilidade dos α -ácidos em água é muito baixa, quando eles estão parcialmente dissolvidos não mostram nenhuma amargura. Gosto amargo após isomerização ácida Humulone, humulone e ahumulone durante a fervura do mosto um intermediário no processo de produção da cerveja, transformando-se em isohumulona através do mecanismo mostrado na Figura 7 (CABALLERO et al., 2012).

Figura 6- Frações das resinas do lúpulo e seus respectivos compostos



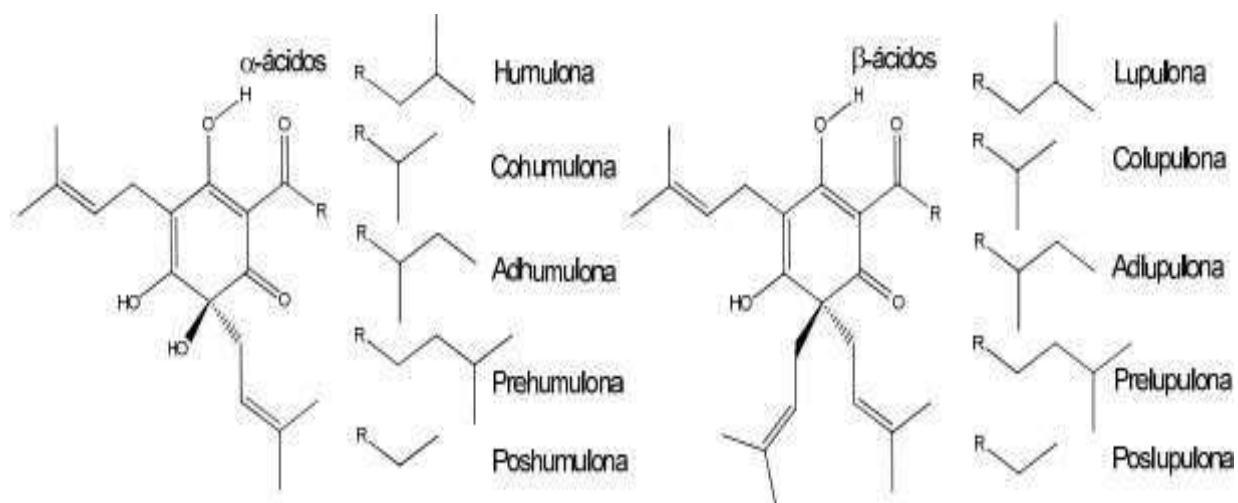
Fonte: DURELLO, SILVA & BOGUSZ JR. (2019) adaptada.

Figura 7- Mecanismo de isomerização de alfa-ácidos a iso-alfa-ácidos.



Fonte CABALLERO et al., (2012)

O processo da isomerização das humulonas é importante para aumentar a sua solubilidade no mosto cervejeiro e também para aumentar o seu amargor, isto é, as iso-humulonas são mais amargas que as humulonas (Figura 8). Durante o processo de isomerização ocorre a formação de dois diastereoisômeros para cada uma das cinco moléculas de humulonas (SILVA, 2020).



Fonte: adaptado de KARABÍN et al., 2016.

Figura 8- Estruturas química das humulonas e lupolonas

Fonte: KARABIN et al., (2016) adaptada.

As humulonas tem um ponto de fusão de aproximadamente de 60 °C, e baixa solubilidade em mosto e água, ou seja, 480 ppm, pH 5,9 e 100°C e 84 ppm, pH 5,2 a 100 °C, respectivamente. Durante a fervura isomerizam-se e se transformam em iso-humulonas que tem uma solubilidade mais elevada, de 200 ppm, pH 3,4 a 100 °C. (SENAI, 2014).

Os iso-α-ácidos são intensamente amargos, quase equivalentes ao quinino, composto utilizado como comparação. Constituem a fração quantitativa mais importante do lúpulo na cerveja e são os responsáveis pelo sabor amargo característico dessa bebida (KEUKELEIRE, 2000).

De acordo com a densidade do mosto, a variedade de lúpulo e seu teor de ácido alfa, 100 - 800 gramas de lúpulo ou seus derivados são adicionados a cada hectolitro de mosto. O uso de extratos pré-isomerizados também pode atingir o amargor desejado. Neste tipo de material, os α-ácidos são pré-isomerizados e iso-α-ácidos, então não há necessidade de ferver os α-ácidos porque eles podem ser adicionados em um estágio de produção mais avançado (quanto mais tarde melhor) para aumentar o rendimento final (SANTOS, 2015).

Na Tabela 1 são apresentadas algumas variedades de lúpulo utilizadas no processo cervejeiro, seus respectivos valores de porcentagem de α-ácidos e características organolépticas.

Tabela 1 – Características organoléptica de diferentes variedades de lúpulos.

| Nome | % α-ácidos | Características Organolépticas |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Cascade | 4,5-7 | Floral, crítico |
| Centemial | 9,5-11,5 | Floral, crítico |
| Chinook | 12-14 | Picante, amadeirado |
| Fuggle | 4.5-5 | Vegetal, terra, madeira |
| Hallertau | 3-5,5 | Ligeiramente Picante |
| Muttelfruch | | |
| Kent Golding | 3-4,5 | Suave, perfumado |
| zech Saaz | 3-4,5 | Florido, picante |
| German Spult | 4,0 | Picante |
| German Tettninger | 3,5-5,6 | Picante |
| U.S. | | |
| NothemBrewer | 6-10 | Amadeirado, mentolado |

Fonte: SMITH (2013), adaptada.

De acordo com Silva e Faria (2008), uma mesma concentração de iso- α -ácidos pode proporcionar um amargor diferente para cada bebida, visto que depende da concentração dos isômeros cis e trans. A formação de cada isômero depende das condições de isomerização dos iso- α -ácidos que ocorre durante a fermentação do mosto. Assim, isômeros cis são significativamente mais amargos que trans. Segundo Hughes (2000) a intensidade de amargor segue uma ordem: cis-isohumulona > trans-isohumulona \approx cis-isocohumulona > trans-isocohumulona. Além disso, também afirmou que as isohumulonas são significativamente mais amargas que as isocohumulonas.

O amargor proveniente dos iso- α -ácidos é também influenciado pela adaptação. Em geral, a duração e máxima intensidade de amargor aumenta após a ingestão repetida de cerveja, e o amargor tende a ser mais intenso com o aumento da concentração de iso- α -ácidos e tamanho da amostra. Outra influência é causada pelo teor de etanol da cerveja. Um aumento da intensidade do amargor devido a um teor de etanol mais elevado foi evidenciado para os ácidos amargos reduzidos e os hidrogenados (SCHÖNBERGER, 2015).

A Tabela 2 apresenta compostos do lúpulo Polaris (origem Alemanha) e com características de amargor.

Tabela 2 – Compostos do Lúpulo Polaris

| Compostos | Teores (%) dos óleos totais |
|------------------|------------------------------------|
| Alfa-ácido | 18-23 |
| Ácido-beta | 5,0-6,5 |
| Cohumulona | 22 -28 |
| Óleos Totais | 2,4-4,4 ml |
| Mirceno | 20 - 35 |
| Cariofileno | 8,0 -13,0 |

Fonte: Barth-Haas (2021).

3.7 Análise do Amargor

O método padrão para estimar o amargor da cerveja utiliza a medida de iso- α -ácidos totais por técnica de espectrofotométricas, após sua extração por solvente, expressa a sua concentração em unidade de amargor (IBU). Convecções americanas, europeias e agora também brasileiras adotam esta técnica como oficial. A espectrometria por radiação ultravioleta como método de análise do amargor de cerveja, fundamenta-se no princípio em que os principais compostos de amargor são os iso- α -ácidos, e que estes possuem absorção máxima na faixa de ultravioleta visível (UV-vi) a 270 - 275 nm. Acredita-se que as medidas obtidas por esse método têm uma boa correlação com as percepções humanas no amargor em cervejas do tipo ale e lager (SILVA & FARIA, 2008).

3.8 Métodos de Extração

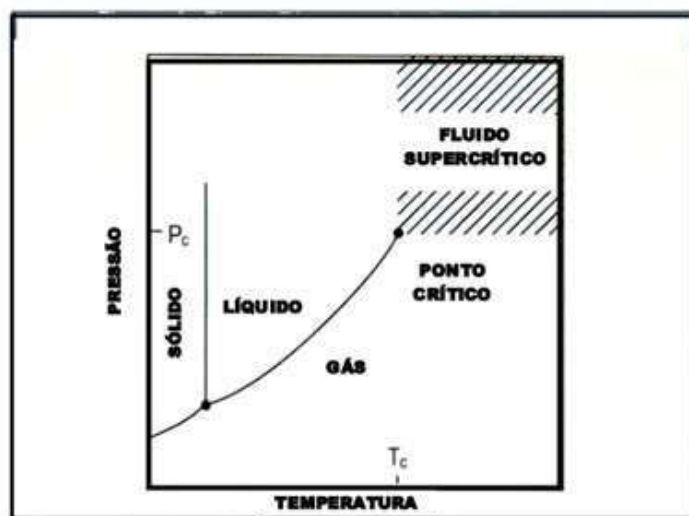
Os processos de extração consistem em operações unitárias que visam a separação de determinação compostos a partir de uma matriz através de processos químicos, físicos ou mecânicos. De acordo com estado de agregação da matriz, existem três tipos básicos de processos extrativos: extração sólido-líquido; extração líquido-líquido e extração gás-líquido (TZIA & LIADAKIS, 2003; VELASCO et al., 2007).

3.4.1 Extração com Fluido Subcrítico

A extração subcrítica pode ser definida como a solução de determinados compostos de uma matriz sólida e líquida e um solvente em condições supercríticas (SERAFINI et al., 2001). Um componente puro é considerado um fluido supercrítico (SF- *Supercritical fluid*) quando sua temperatura e pressão são maiores que seus valores críticos, T_c e P_c , respectivamente (BRUNNER, 2005).

O princípio da extração de um fluido subcrítico aproveita as propriedades físicas dos fluidos no estado subcrítico. Como a densidade é semelhante de um líquido, oferece maior capacidade de dissolução para várias substâncias químicas. Como somente uma mudança de pressão/temperatura na solubilidade e/ou densidade, o uso do fluido supercrítico permite um isolamento altamente eficiente dos componentes a serem extraídos (VARGAS, 2005).

Figura 9- Diagrama de fases de componentes puros



Fonte: VARGAS (2005)

Quando uma substância é elevada acima do seu ponto crítico de temperatura e pressão ela passa para uma condição chamada de “estado de fluido supercrítico”, conforme a Figura 9 (VARGAS, 2005).

3.4.2 Extração por Arraste de vapor

A extração a vapor é um dos métodos mais antigos de operações de extração usados em processos relacionados à indústria e se baseia na diferença de volatilidade de certos compostos presentes nas matérias-primas vegetais. A indústria prefere essa tecnologia porque é mais simples, mais econômica e capaz de processar grandes quantidades de material vegetal de uma só vez (BUSATO, COSTA, 2014).

O processo de extração de óleo essencial por arraste de vapor de água consiste em passar vapor de água, por um vaso extrator, o qual contém um leito fixo de plantas aromáticas. A distribuição de matéria-prima no extrator deve ser feita de maneira que permita o maior contato superficial entre esta e o vapor. Os componentes voláteis, que possuem uma pressão de vapor mais elevada que a de água e com o fluxo ascendente de vapor, são arrastados em direção do topo do vaso, seguindo em direção ao condensador. O condensado, água e óleo essencial emulsionado são conduzidos ao vaso separador, também conhecido como vaso florentino, onde são separados em duas fases aquosa e oleosa (CASSEL et al., 2008)

O aparelho de destilação convencional é o aparelho clewenger usado para extração de óleos essenciais consiste em um aquecedor, condensador e determinador do óleo. O processo de extração percorre as etapas de transferência de massa: sólido-líquido e líquido-líquido (CLEWENGER, 1928).

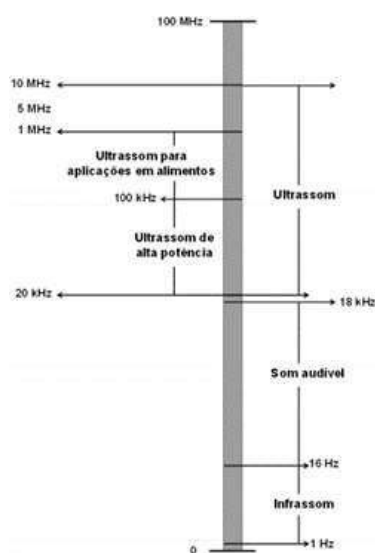
A matéria-prima é colocada junto a água, com o tempo alguns compostos do vegetal se solubilizam na água, é a primeira etapa de transferência de massa sólido-líquido (BRASIL, 2010).

Em seguida o material vegetal e a água são aquecidos dentro do extrator até o ponto de ebulição, então, os constituintes voláteis gradualmente evaporam junto com o vapor de água durante o período de aquecimento, e esse segundo processo no qual os constituintes voláteis do vegetal são transferidos da fase líquida da fase gasosa. Logo em sequência, o vapor de água contendo os compostos voláteis pode voltar ao estado líquido do condensador, e esse é o terceiro passo para o estado líquido (CLEWENGER, 1928).

3.4.3 Extração por Ultrassom

O som é uma oscilação da matéria que se propaga na forma de uma onda mecânica. No estado equilíbrio, as partículas da matéria oscilam em torno de sua posição de equilíbrio. Quando a onda mecânica passa através da matéria, o deslocamento no estado de equilíbrio ocorre, a tal perturbação se desloca através do meio. Posteriormente, o sistema retorna ao equilíbrio, para um estado não perturbado. Ondas mecânicas que se propagam em sólidos são chamados de “elásticas”, enquanto aquelas que se propagam em fluidos são denominadas “acústicas” (ENSMINGER & BOND, 2011). Ondas elásticas podem ser transmitidas tanto como ondas longitudinais (tensão de dilatação por compressão alternada) como ondas transversais (tensão de cisalhamento alternada). As ondas acústicas são apenas de tipo longitudinais (pressão do fluido alternada). A frequência das ondas mecânicas varia de 16 Hz acima de 1 GHz e permite dividir “sons” em quatro grupos (Figura 10), a saber: intrassom (1 a 16 Hz), acústicos (sons audíveis, 16 a o 20 KHz), ultrassom (20 KHz -1 GHz) e hipersons (acima de 1GHz) (CHEEKE, 2012).

Figura 10- Divisão das Frequência das ondas mecânicas



Fonte: CHEEKE (2012) adaptada

A divisão mais conhecida de ultrassons, é baixa e alta intensidade (baixa ou alta potência de energia), e está diretamente relacionada às suas aplicações. A diferença essencial entre esses dois grupos consiste nos resultados da ação

das ondas. Para ultrassons de baixa intensidade, a matéria depois que as ondas passam, retorna ao estado de equilíbrio original, enquanto mudanças permanentes ocorrem para ondas de alta intensidade e a matéria atinge um novo estado de equilíbrio. O objetivo principal das aplicações de baixa intensidade é transmitir energia através de um meio sem causar uma mudança de estado. Aplicações de baixa intensidade usam frequência superior a 100 KHz em intensidade abaixo de 10 KW/m² (ENSMINGER; BROD,2012). Enquanto isso, o objetivo das aplicações de ultrassons de alta intensidade é alterar o meio pelo qual as ondas se propagam. As ondas tem frequência entre 18 e 100 KHz em intensidades superiores a 10 KW/m² (CHEEKE, 2012).

3.9 Análise por MEV

O principal objetivo da análise microscópica em compostos poliméricos é a determinação da homogeneidade de dispersão de cargas na matriz e particularmente para estudo do modo ou causa da fratura. Dessa forma a MEV pode ser utilizada para investigar a zona de fratura e tentar correlacionar as feições topográficas da superfície da amostra à natureza ou causa da fratura. Imagens da superfície de fratura de um componente estrutural à base de polipropileno com carga mineral. (SÃO CARLOS 1997).

3.10 Aplicação na Produção

Para realizar a produção da cerveja dos estilos lager e pilsen , são adicionados no início da fervura cerca de 0,420 g de lúpulo de amargor para cada 1000 litros de mosto produzido, para viabilizar os custos de produção , no caso diminuir esses custos com a matéria-prima , foi aplicado um estudo para o reaproveitamento, pois quando acidionamos esse lúpulo de amargor acaba-se evaporando por ser um produto bem volátil , isso se deve a alta temperatura do tanque que chega em torno de 98°C.

Com isso veio a implementação de um equipamento , que chamamos de extrator de óleo essencial de lúpulo, pois além que aproveitamos o vapor que é consumido na linha de produção usamos no extrator para obter o óleo residual e as tortas da extração.

As tortas que foram obtidas no extrator industrial, já a um aproveitamento desta pois estamos aplicando na produção de cerveja. A reutilização desta torta ajuda a diminuir os custos na produção, pois lúpulo que é aplicado no amargor

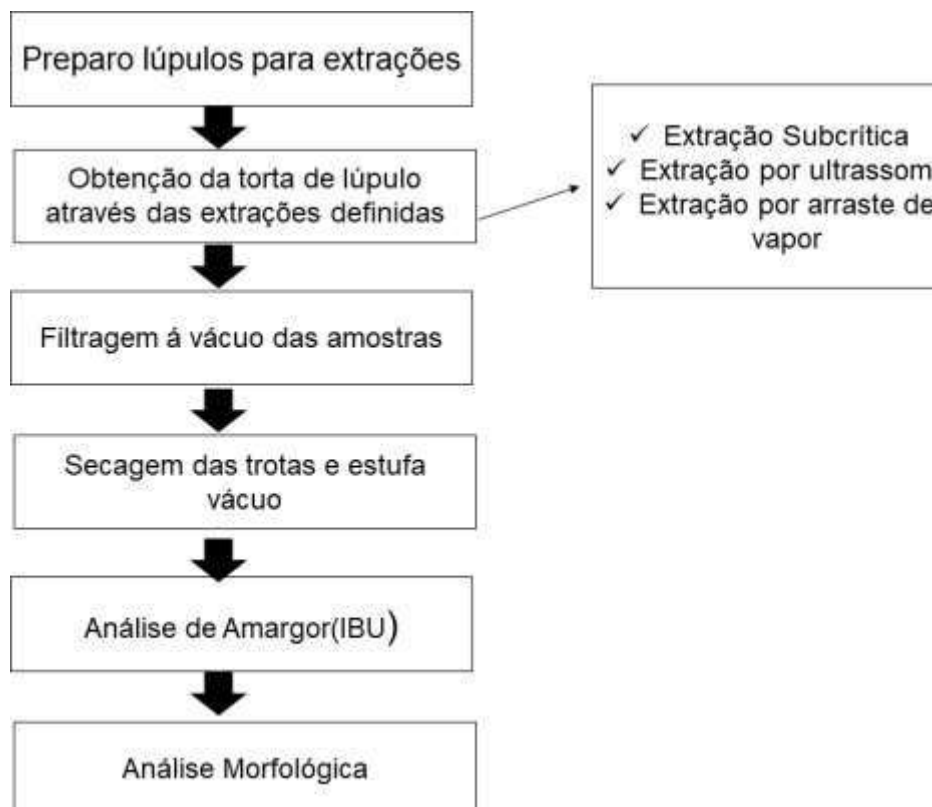
da cerveja estamos realizando a extração deste ,pois a torta utilizamos no mosto cervejeiro, óleo/resíduo podemos usar na fermentação ou ate mesmo apra dar uma amargor em outro estilo cervejeiro .

O custo do lúpulo influencia no preço final da cerveja, pois para cada batelada dia de 1000 lts de mosto cervejeiro utiliza-se 0,420g, com um custo de R\$156,66 . Realizando um cálculo simples para cada produção de 4000 mil litros ulitizamos cerca 1680 kg de lupúlo, esse reaporveitamos podemos ter uma economia de ate 33 % ao mês .

4 Material e métodos

Neste capítulo serão descritos os materiais e metodologias empregadas nos experimentos para extração das tortas dos extratos de lúpulo, seguido as etapas descritas conforme a Figura 11.

Figura 11- Etapas do desenvolvimento dos experimentos.



4.1 Seleção da variedade do lúpulo

O lúpulo em pellets T-90 (Hallataun Polaris) (Figura 12) da safra de 2019 foi importado da empresa HGV da Alemanha pela Agrária Agroindustrial de Guarapuava-Paraná e adquirido pela Cervejaria Ágape.

Figura 12 – Aspecto visual do lúpulo Polaris utilizado nos experimentos



Fonte: Barth-Haas (2021).

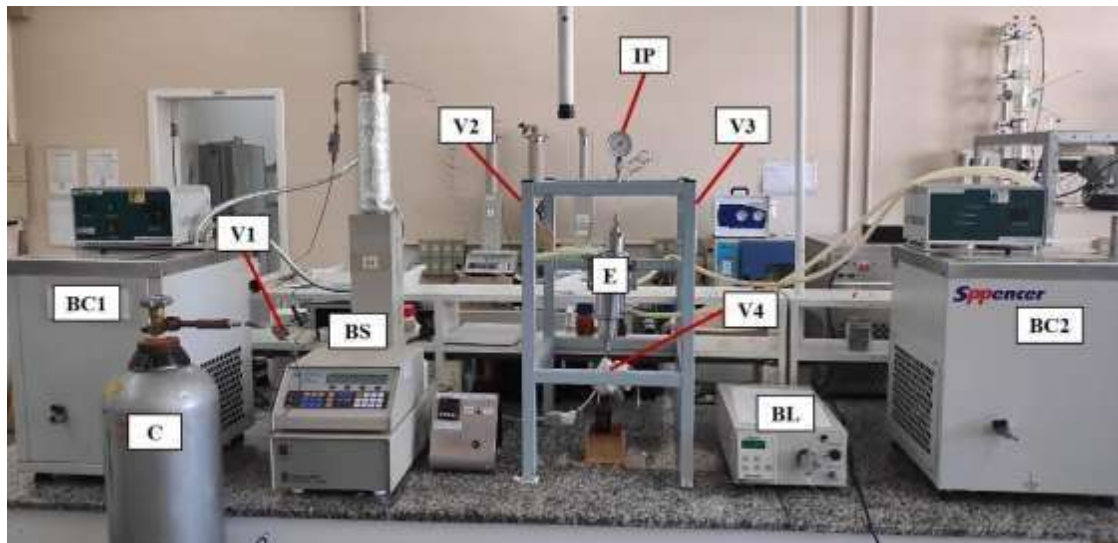
A variedade do lúpulo selecionado para o teste foi definida pela quantidade de α -ácidos (20,60%) e teor total de óleo essencial (3,25 mL/100 g).

4.2 Métodos de Extração

4.2.1. Extração Subcrítica

A Figura 13 apresenta a unidade de extração com fluido pressurizados. O equipamento é composto por uma bomba seringa (BS), uma bomba de líquido (BL), dois banhos de circulação, (BC1) para controle de temperatura da bomba seringa, e (BC2) para controle da temperatura do extrator (E). A válvula (V1) é utilizada para alimentação da bomba seringa com o gás armazenado no cilindro (C), a válvula (V2) para alimentação do extrator quando utilizado sistema gasoso, a válvula (V3) para alimentação do extrator quando utilizado sistema líquido e a válvula (V4) para coleta dos extratos na saída do sistema. Um indicador de pressão (IP) é 38 utilizado para monitorar a pressão da linha e uma manta de aquecimento foi empregada na válvula (V4) com a finalidade de evitar o congelamento e a obstrução da válvula durante a expansão do CO₂.

Figura 13 – Aspecto visual da unidade de extração de fluidos pressurizados utilizada nos experimentos.



Fonte: Fischer (2021).

Nos experimentos foram utilizadas 15,2 g de amostra, tempo estático de 30 min. e 120 min. de extração dinâmica na temperatura de 7 °C e pressão de 100 bar baseadas em Gardner (1993). Os extratos foram armazenados em temperatura de 5 °C, até serem analisados.

4.2.2. Extração por Ultrassom

Para cada ensaio foi utilizado 5 g de amostra de lúpulo em pellets e posteriormente dissolvidos em 50 mL de água destilada, e submetidos a extração em ultrassom (modelo USC: 1800 A, freq. US: 40 KHZ, potência US: 132 W) na temperatura de 80°C com frequências de 60, 80, 100 KHZ e foram realizadas extrações em tempos diferentes de 30, 60, 120 e 180 min. baseadas em Huanxin (2019). Após as amostras foram filtradas com auxílio da bomba de vácuo e submetidas a secagem em estufa a vácuo (Quimis, modelo Q819-V2) a temperatura de 50 °C por aproximadamente 26 horas, até massa constante.

4.2.3. Extração por arraste de vapor

4.2.3.1. Unidade Industrial

O equipamento por arraste de vapor tem uma capacidade de caldeira para 36 L de água, o suficiente para duas horas de arraste com fluxo médio de 18 L/h,

podendo ser abastecido posteriormente apenas com uma pausa na extração. O recipiente para arraste possui um volume útil de 10 kg, sendo que com 5 kg já é possível a extração estando no volume mínimo. O corpo todo do equipamento incluso serpentina e trocador é construído em aço inox chapa de 1,5 mm em AISI 304 L. Soldas sanitária e conexões em inox. A produção média para lúpulo em pellets é de 100 mL/h. Caso o corpo de arraste seja carregado com 8 a 10 kg o fluxo aumenta consideravelmente (120 -150 mL/h). O volume de água de refrigeração é de 150 L/h. O volume de condensado total de 18 a 20 L/h dependendo da admissão do vapor que é produzido indiretamente a partir do vapor gerado por uma caldeira externa com capacidade de 300 kg vapor/h. O equipamento é dotado de uma entrada extra para saturação tanto da água quanto do corpo com gás inerte, minimizando a oxidação provocada pelo oxigênio dissolvido na água de formação do vapor de arraste. O aparato dispõe de iluminação interna e sistema de fechamento por pressão para facilitar a alimentação e retirada do lúpulo, pode-se observar o aspecto visual e detalhe do equipamento na Figura (a) e (b).

Foram utilizados 5 kg de lúpulo, com arraste a vapor a 95 ° C, com uma duração de 2 horas de extração. O extrato produzido foi secado em estufa a vácuo.

Figura 14 – Aspecto visual do extrator industrial por arraste a vapor (a) utilizado nos experimentos (b).



(a)



(b)

4.2.3.2 Escala Laboratorial

A extração foi realizada num aparelho tipo cleveger conectado a um balão de 5 L, onde adicionou-se 50 g de pellet de lúpulo de amostra e 500 mL de água destilada, o tempo de extração foi de 2 horas (Figura 15). A torta resultante foi filtrada com auxílio de bomba a vácuo e seco em estufa a vácuo na temperatura de 50° C, até massa constante, por aproximadamente 26 h (Figura 16).

Figura 15 – Aspecto visual do Extrator Cleveger



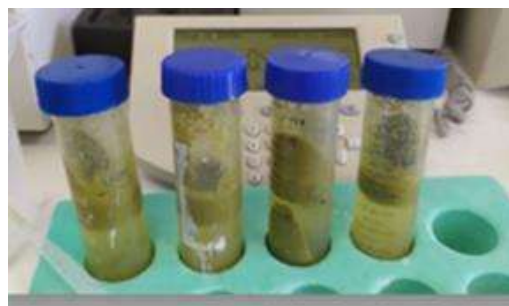
Figura 16 - Aspecto visual da amostra seca



4.3 Análise do Amargor

A análise foi realizada acordo com o EBC-Chemical/Physical (2004), Para o preparo das amostras foi adicionado 10 g de extrato adicionado a 50 mL de água, pois com extrato seco não foi possível realizar as análises. Em seguida, o extrato foi diluído, 5 mL de extrato de lúpulo em um tubo de centrifuga de 50 mL (Figura 17) e adicionou-se 0,25 mL de ácido clorídrico e 10 mL de isso-octano para realização emulsão e separar . Os tubos foram agitados por 15 min e logo após foi centrifugado a 3000 rpm por 3 min (Figura17). Após foi medida a absorvância em espectrofotômetro (Agilent modelo HP-IB Address) no comprimento de onda de 270 nm.

Figura 17 – Etapas do preparo dos extratos para análise do amargor



Após a leitura o amargor das amostras foi expresso em unidades IBU (Equação 1).

$$\text{Amargor (IBU)} = 50 * \text{Abs}_{275\text{nm}} \quad (1)$$

4.4 Morfologia da torta seca - Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise morfológica da torta seca foi obtida através de microscopia eletrônica de varredura – MEV (Zeiss, modelo EVO LS25). Para o recobrimento da superfície das amostras com ouro foi utilizado um metalizador (Quorum, SC 7620), analisada com uma ampliação de 20 μm e tensão de 10 KV.

4.5 Análise estatística

Os resultados ($n = 3$) foram tratados estatisticamente pela análise de variância - ANOVA, comparação de médias pelo teste de Tukey e/ou *t-student* com auxílio do software STATISTICA versão 5.0 (StatSoft/Dell, USA), com 95% de confiança.

5 Resultados e Discussões

Neste item serão apresentados os resultados e discussões das extrações por diferentes métodos (ultrassom, em diferentes tempos e potências e das análises de amargor da torta residual.

5.1.1. Extração por Ultrassom

Para avaliação das extrações foi fixada a temperatura de 80°C para todas as amostras e variou-se a potência (100, 80 e 60 KHZ) e os tempos (30, 60;120 e180 min) de extrações. A Tabela 3 apresenta o amargor residual das tortas de lúpulo obtidos pelo sistema ultrassônico.

Tabela 3 – Análise de amargor (% IBU) das tortas de lúpulo da extração por Ultrassom.

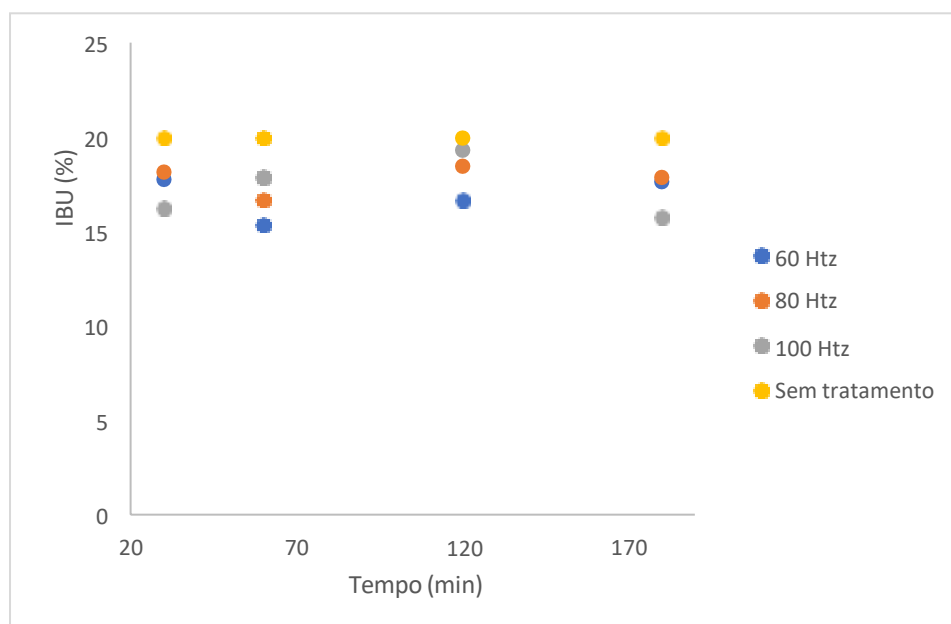
| Potência (KHZ) | Amargor* (% IBU) | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 30 min | 60 min | 120 min | 180 min |
| 60 | 10,91 ^{bAB} ± 2,96 | 15,97 ^{bA} ± 1,15 | 16,14 ^{bB} ± 0,10 | 17,64 ^{aA} ± 0,86 |
| 80 | 9,52 ^{bB} ± 0,89 | 17,15 ^{aA} ± 2,89 | 17,26 ^{aA} ± 1,53 | 15,19 ^{aA} ± 2,41 |
| 100 | 15,51 ^{bC} ± 1,23 | 17,52 ^{aB} ± 0,34 | 19,29 ^{bA} ± 0,80 | 17,56 ^{aA} ± 0,50 |

*Média ± desvio padrão (n = 3) seguida de letras iguais minúsculas/maiúsculas nas linhas/colunas indicam não haver diferença significativa (p>0,05) pelo Teste de Tukey.

O amargor da torta de lúpulo extraída com o sistema ultrassônico na potência de 60 KHZ e tempo 180 min, difere estatisticamente, sendo o que houve a maior perda de amargor foi com a potência de 60 KHZ com 30 min. de extração e a pontecia que obteve melhor resultado ou seja que houve uma perda menor do seu amargor foi a de pontecia de 100 KHZ em 180 mim. (p<0,05) dos demais tempos de extração. Já nas potências de 80 e 100 KHZ, somente o tempo de 30 min foi o que diferiu, que menor perda de amargor a de a com potêcia de 100KHZ em 30 mim. (p<0,05) no amargor dos demais tempos de extrações. A menor degradação dos compostos de amargor foi de aproximadamente 3,31%, no ensaio de US conduzido a 100 khz e tempo de 120 min, quando comparado com o lúpulo em pallet, o amargor sem qualquer método de extração que é de 19,95%. Este comportamento pode ser melhor visualizado na Figura 18.

Figura 18 - Amargor (%IBU) da torta sem o tratamento e com o sistema ultrassônico 60, 80 e 100 KHZ em diferentes tempos.

Podemos observar que Figura 18 quando comparamos o amargor (IBU), da torta sem nenhum tratamento pois é o lúpulo em pellet com o valor de amargor de 19,95% podemos observar que a extração que obteve melhor resultado foi com a de potência de 100KHZ ,pois houve menores de amargor na sua extração, quando comparamos com as demais potências.



5.1.2. Análise de Extrações Hidrodestilação, arraste de vapor Industrial e Subcrítica

Na extração por arraste a vapor com equipamento industrial, empregou-se a temperatura de 100 °C e tempo de 1 h e 30 min e no Cleveger, realizou-se duas extrações a 98 °C e na extração supercrítica com CO₂, o tempo foi de 3 h e a temperatura de 7 °C. A Tabela 4 apresenta o amargor (%IBU) da torta de lúpulo após a extração com arraste de vapor e CO₂.

Tabela 4 – Amargor (% IBU) da torta de lúpulo, após a extração com arraste de vapor industrial , hidrodestilação e subcrítica.

| Método de Extração | Amargor (IBU, %) |
|--------------------|---------------------------|
| Sem tratamento | 19,95 ^a ± 0,08 |
| Industrial | 15,83 ^c ± 0,25 |
| hidrodestilação | 17,96 ^b ± 0,70 |

Subcrítica

19,85^a ± 0,21

*Média ± desvio padrão (n = 3) seguida de letras iguais indicam não haver diferença significativa (p>0,05) pelo Teste de Tukey

Observou-se que as amostras adquiridas com extrato não tratado para extração subcrítica ficou retido 0,5% do seu amargor inicial, o que se deve ao fatoda condição de temperatura ser inferior aos demais extratos, pois pode-se observar o tempo de extração. Quando extraiu-se em equipamentos industriais, e Cleveger a temperatura foi de 98 °C. Na indústria, houve uma retenção de 20,65% desse amargor é extraído por hidrodestilação e 9,97%.,isso significa que coma de arraste de vapor industrial obteve-se uma perda maior de seu amargor na torta comprando com os demais métodos analisados.

Por mais que obtivemos perdas com a extração industrial em torno de 20,65%,a torta residual foi utilizada para a produção das cervejas na tabela 5 podemos observar que as cervejas do estio lager e pilsen não temos diferença significativaem seu amargor ele fica dentro dos padrões estabelecidos pelo guia cervejeiro,podemos comparar os valores de amargor de dois estilos cervejeiros lager e pilsen que houve a adição da torta de residual da extração.

Tabela 5 – Análise de amargor (IBU%) das cervejas utilizando a torta residual do lúpulo em comparativo coma utilização do lúpulo em palet

| Estilo | Padrão (IBU%) | Amargor (IBU, %) com adição da torta | Amargor (IBU, %) não extraído |
|--------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Lager | 7,4 | 7,6 ± 0,4 | 7,5 ± 0,2 |
| Pilsen | 9,7 | 10,0 ± 0,3 | 10,0 ± 0,2 |

Quando compramos as cervejas com adição da torta da extração residual, com apenas a cerveja que foi acionado o lúpulo em pellet , não houve diferença significativa apresentados nas análises, mesmo sendo uma torta de

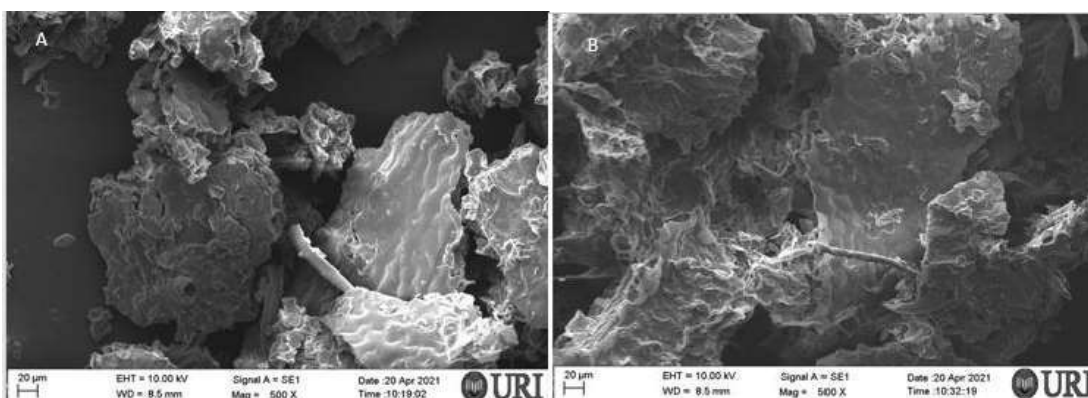
aproveitamento da extração industrial que houve uma perda significativa de 20,65% ,podemos observar que não afetou no amargor final da cerveja.

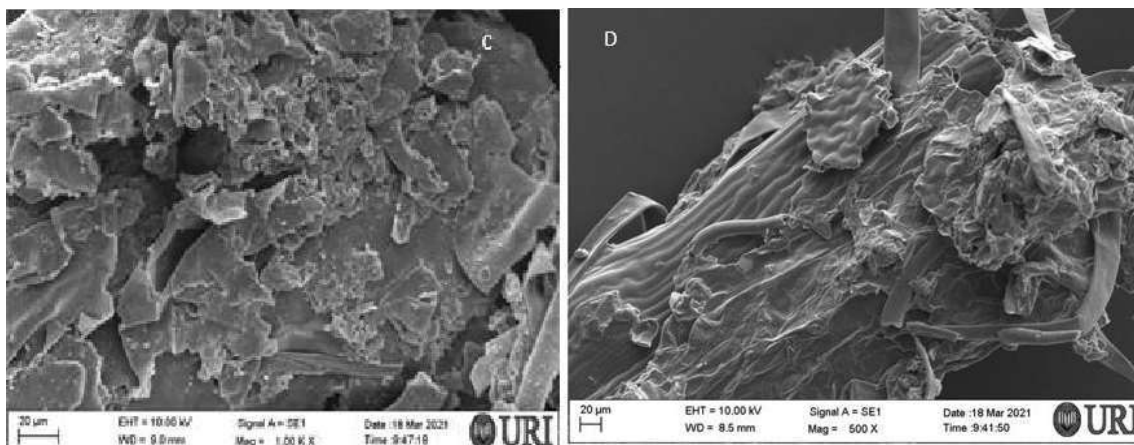
Quando colocamos esses resultados em valores podemos ter uma economia de até 33% desta matéria-prima . Pois em uma produção média de 70.000 litros/mês utilizamos cerca de 30kg de lúpulo em pallet num valor médio de R\$ 379,42 por kg , com um custo mensal de R\$ 11,382,60 do lúpulo em pallet desta matéria-prima, pois esse lúpulo que usamos na extração além de ser utilizado na fervura, vamos usar na fermentação como um antimicrobiano e usaremos na maturação da cerveja pronta ,para melhorar o amargor e o aroma .

5 Morfologia da torta de lúpulo

As Figuras 19,20,21,22 mostram imagens feitas pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das tortas de lúpulo sem extração e após a extração por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) , as imagens foram analisadas com uma ampliação de 20 μm e tensão de 10 KV.

Figura 19- Imagens do MEV das tortas de lúpulo: (A) sem extração;(B) Hidrodestilação; (C) CO₂ (D) Extração por arraste de vapor industrial





Nota-se que a torta que não foi submetida a extração contém algumas escamas e sem nenhuma porosidade. As demais que obtiveram os tratamentos de extração por hidrodestilação e CO_2 , ficaram mais porosas.

Figura 20- Imagens Mev com pontência de 100 KHZ (A) Sem tratamento (b)30 mim;(c) 60 mim;(d)120 mim;(e)180 mim

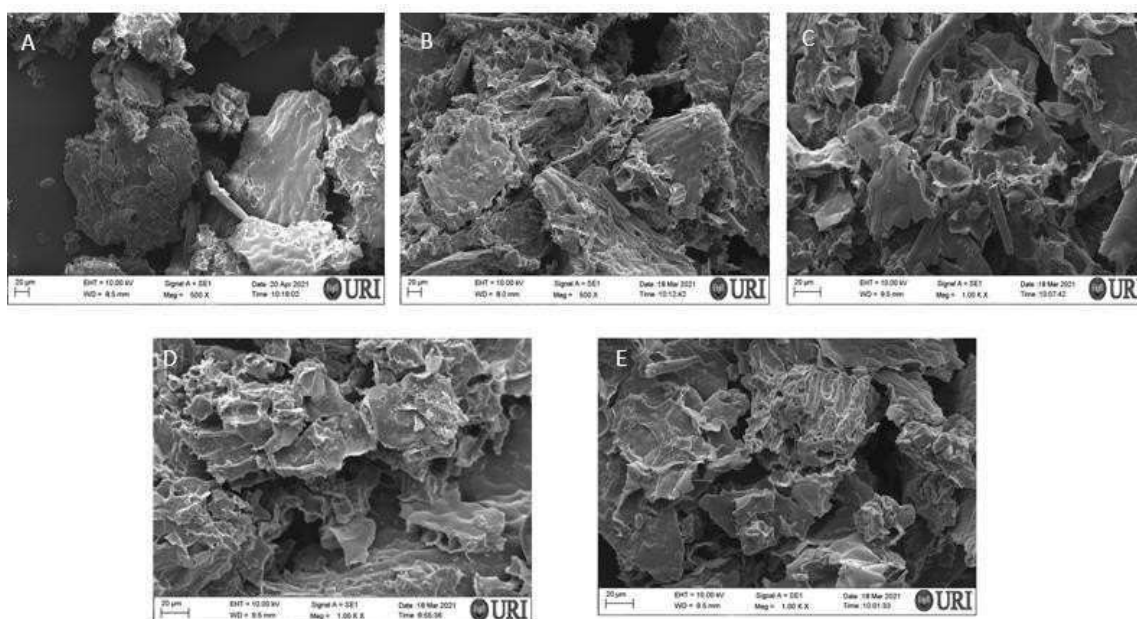


Figura 21-Imagem de Mev com Potência de 80 KHz (A)Sem tratamento (B)30 mim;(C) 60 mim;(D)120 mim;(E)180 mim

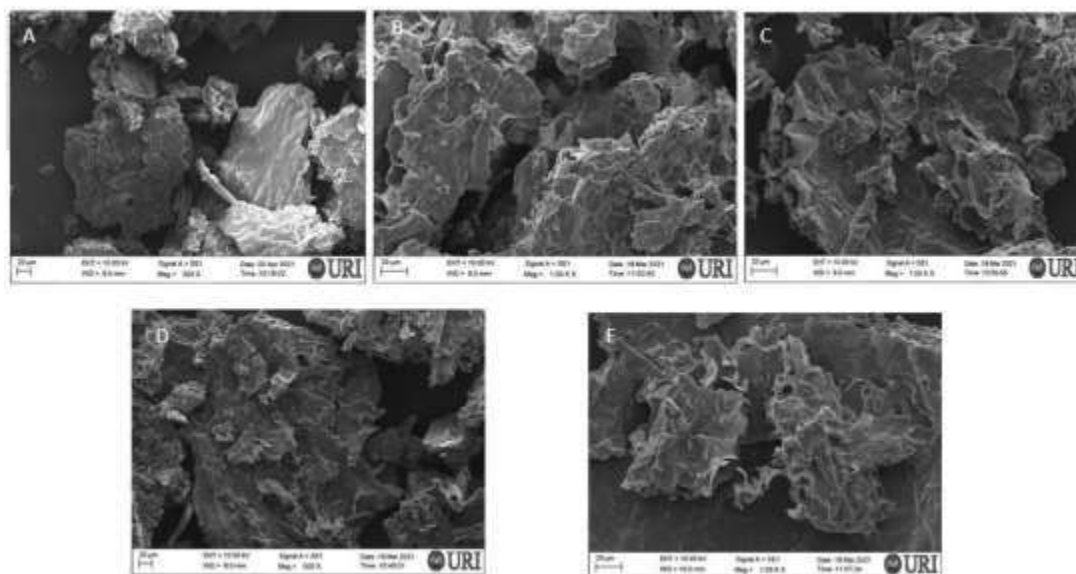
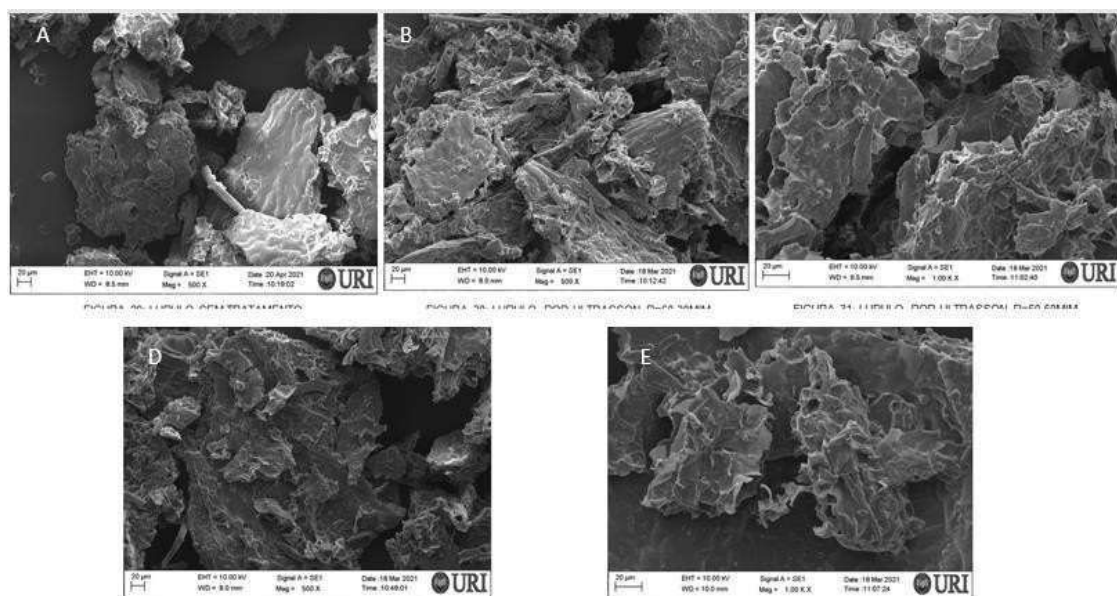


Figura 22-Imagens do MEV com Potência 60 KHz (A) Sem Extração(B)30 mim;(C) 60 mim;(D)120 mim;(E)180 mim



A partir da análises das imagens de MEV é possível caracterizar as estruturas das tortas de lúpulos após cada extração submetida, avaliando desta maneira suas características morfológicas que permitem observamos o que acontece com cada torta de lúpulo após cada método de extração aplicada.

Quando se realiza um comparativo das imagens com a torta que não sofreu nenhum tipo de extração, observamos que nas imagens que todas as tortas sofreram alguma modificação em sua estrutura inicial. As fibras das tortas ficaram mais porosas quando comparadas com a torta que não houve a aplicação de temperatura variada e potência.

6 Conclusão

Na obtenção das tortas, pode-se concluir que todos os métodos ocorre uma perda nos métodos entre 0,5 a 20,65% do teor de amargor das tortas, que é o valor final aceitável. A torta que apresenta as melhores condições foi a da extração subcrítica, que retém cerca de 99,05% do amargor.

Mesmo com essas perdas significativas de amargor das tortas, é possível ainda aplicar elas na produção cervejeira, e tendo o aproveitamento da matéria-prima ao máximo utilizando a torta na fervura e o restante dos resíduos óleo/extrato, na fermentação e na finalização do produto final como no aroma, com uma economia que pode chegar a 33%

O MEV apresentou ser uma ferramenta complementar para as análises da tortas de lúpulo. As observações realizadas comprovam que quando se utiliza o método de extrações variando temperatura e potência apresentam uma alteração nas suas características das tortas as microanálises efetuadas forneceram ainda informações adicionais, pois ainda não há um estudo mais avançado nesse campo.

7. Sugestões de trabalhos futuros

Realizar análises cromatográficas, para poder realmente caracterizar cada composto de amargor das tortas;

Realizar análises sensorial para detectar o amargor;

8. Referências

- ABOUMRAD, J. P.C.; BARCELLOS, Y. C. M. Análise e simulação das operações de mosturação e fermentação no processo de produção de cervejas. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Química e de Petróleo) – Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro 2011
Acesso em: 8 julho 2021.
- BANDINELLI, P. C. Estudo de caso de melhoria no processo de mosturação de uma Cervejaria no RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. Disponível em: Acesso julho 2021.
- BJCP Style Guidelines for Beer, Mead and Cider. 2008. Disponível em. Acesso em: 27 de julho de 2015.
- BRASIL. Farmacopeia Brasileira. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2010. 546p., 1v/il.
- BRIGGS, D et al, *Brewing Science and Practice*. Boca Raton: CRC Press, 2004.881p.
- BRUNNER, G. *Gas extraction: an introduction to fundamentals of supercritical fluids and the application to separation processes*. 1st. Ed. Darmstadt: Steinkopff, New York: Springer,1994. 387 p.
- BRUNNER, G. *Supercritical fluids: technology and application fo food processing*. *Journal of Food Engineering*, v. 67, 2005, p. 21-33
- CABALLERO, Isabel; BLANCO, Carlos A.; PORRAS, Maria. Iso alfa-acids, bitterness and loss of beer quality during storage. Departamento de ingeniería Agrícola y Florestal, Universidad de Valladolid, Spain, 2012.
- CARVALHO, L. G. Dossiê Técnico. Produção de cerveja. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mar. 2007
- CASSEL, E.; Vargas, R. M. F.; Brun, G. W. *Processos de extração supercrítica aplicados a produtos naturais*. In: Eduardo Cassel; Leandro Machado Rocha. (Org.) *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.
- CERVEJAS ARTESANAIS NO BRASIL. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 480-488, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/591>.
- CHEEKE, J. D. N. *Fundamentals and applications of ultrasonic waves*. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press, 2012. 504p.
- CLEVINGER, J.F. Apparatus for determination of volatile oil. *American Pharmaceutical Association*, St. Louis, v. 17, iss. 4, p. 345–349, 1928
- compressed CO₂. In: *Extraction of natural products using near-critical solvents*. Springer, Dordrecht, 1993. p. 84-100. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-011-2138-5_4
- COSTA, M. I. Implementação e Validação da nova sala de brassagem Caso de estudo desenvolvido na Sociedade Central de Cervejas e Bebidas. Dissertação

(Mestrado de Engenharia Alimentar) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014
CROMATOGRÁFICA 25/10/00 – capinas são Paulo

TECNOLOGIA CERVEJEIRA SENAI 2014

DANIELS, R. Designing great beers: the ultimate guide to brewing classic beer styles. Brewers Publication, v. 2. 2000

DE Achyrocline satureioides (LAM) DC. POR ARRASTE A VAPOR: MODELAGEM, ANÁLISE DO POTENCIAL AROMÁTICO E RETIFICAÇÃO DE COMPOSTOS

DONAHUE, T. et al. Comparison of viscoelastic, structural, and material properties of double-looped anterior cruciate ligament grafts made from bovine digital extensor and human hamstring tendons. Journal of biomechanical engineering, v. 123, p. 162, 2001.

EBC CHEMICAL/PHYSICAL method 9.9 (bitterness of beer) ,2004

ELENA, Mudura et al.. Improving the hop utilization in the beer biotechnology. BulletinUasvm: Agriculture, Cluj-Napoca, v. 2, n. 65, p.281-286, 2008

ENDO, V. T. et al. Investigação de Métodos de Fixação de Ligamentos e Tendões em Ensaio de Tração Uniaxial. Primeiro Encontro de Engenharia Biomecânica (ENEBI). Petrópolis UFSC: 2 p. 2007.

Enhanced quantitative extraction and HPLC determination of hop and beer bitter acids. The Institute of Brewing and Distilling, 2007.

ENSMINGER, D.; BOND, L. J. Ultrasonics : fundamentals, technologies, and applications. 3rd. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. 723p.

ESSENCIAIS FIX, G. J. Principles of Brewing Science: A study of serious Brewing issues. Brewers Publication, 1999.

Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, Alto Universitário, , Guararema, Alegre –ES,2012.

Fischer B OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL E EXTRATO DE LÚPULO (Humulus lupulus) POR HIDRODESTILAÇÃO E EXTRAÇÃO COM CO₂ SUBCRÍTICO -Universidade do Alto Uruguai das Missões .Erechim -2021

FLUIDOS BIOLÓGICOS PARA POSTERIOR DETERMINAÇÃO

GARDNER, D. S. Commercial scale extraction of alpha-acids and hop oils with

GOODSHIP, A.; BIRCH, H. Cross sectional area measurement of tendon and ligament in vitro: a simple, rapid, non-destructive technique. Journal of biomechanics, v. 38, n. 3, p. 605-608, 2005.

GUENTHER, E. The essential oil. Florida: Krieger Publishing Company, V 1, 2, 3 e 4, 507, p. 1976.

Hieronymus S.- Lúpulo -Editora Krater,2021 versão em português

HMAD, C. S. et al. Mechanical properties of soft tissue femoral fixation devices for anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med, v. 32, n. 3, p. 635-40, Apr-May 2004. ISSN 0363-5465 (Print). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt>

HuanxinZhang^{ab}ZaixiangLou^aXiaohuaChen^{ac}YonghuaCui^aHongxinWang^aXingranKou^aChaoyangMa^a microwave assisted hydrodistillation on the yield, composition, antibacterial

- and antibiofilm activity of essential oils from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis*-
- HUGHES, P. The significance of iso- α -acids for beer quality. *Journal of The Institut of Brewing*, v. 106, n. 5, p. 271-276, 2000.
- JASKULA, B., GOIRIS, K., ROUCK, G. de., AERTS, G., COOMAN, L. de.
- JORGE, E. P. M. *Processamento da cerveja sem álcool. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC Engenharia de Alimentos) – Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2004*
- Journal of Food Engineering* Volume 244, March 2019, Pages 126-135
- JS Hough , DE Briggs , R. Stevens , TW Young *Ciência de malte e fabricação de cerveja Volume II de mosto e cerveja , Springer (2012)*
- Karabín, M.; Hudcová, T.; Jelínek, L.; Dostálek, P.; *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf* 2016, 15, 542.2016
- KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. *Química Nova*, v. 23, n. 1, p. 108-112, 2000. Acesso julho 2021
- KEUKELEIRE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. *Química Nova*, v.23, n.1,p.108-112, 2000.
- Kuck ,LS. *Cerveja Sabor e Aroma, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas/RS p,46-2008*
- KURZ, M. H. S. *Estudo de métodos empregando extração em fase sólida e análise por hplc-dad e gc-ecd para a determinação de resíduos de pesticidas em águas e da degradação a campo. Tese (Doutorado em química, centro de ciências naturais e exatas) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2007*
- LNF América Latina - <https://lnf.com.br/> - acesso dia 28/09/2021
- Mark G Malowicki 1, Thomas H Shellhammer - Isomerization and degradation kinetics of hop (*Humulus lupulus*) acids in a model wort-boiling system- 2005 Jun 1;53(11):4434-9.- 2005
- MATOS, R. A. G. *Cerveja: panorama do mercado, produção artesanal, e avaliação de aceitação e preferência. TCC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2011*
- MATOS, R. A. G. *Cerveja: panorama do mercado, produção artesanal, e avaliação de aceitação e preferência. TCC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2011*
- microcervejaria. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015*
- MORADO, R. *Larousse da Cerveja: A História e Curiosidades de Uma das Bebida Mais Populares do Mundo. 1 ed. São Paulo: Alaúde Editorial, 2017.*
- NOYES, F. et al. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions: *JBJS*. 66: 344-352 p. 1984.
- NOYES, F. R. et al. Intra-articular cruciate reconstruction. I: Perspectives on graft strength, vascularization, and immediate motion after replacement. *Clin Orthop Relat Res*, n. 172, p. 71-7, Jan-Feb 1983. ISSN 0009-921X (Print). Disponível em:<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&>

dopt=Citation&list_uids=6337002 >.

OLAYIDE .S; TREVOR J ; FRIEDDAL D. SAMRT K; Perceived bitterness character of beer in relation to hop variety and the impact of hop aroma Food Chemistry Volume 230, 1 September 2017, Pages 215-224

PASSOS, D. A. C. Identificação da competitividade da indústria cervejeira: Uma aplicação de caso da SaintBier-Forquilha-SC. Monografia para graduação em Ciências Econômicas. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. Disponível em: Acesso em julho 2021.

PINTO, M.B.C. et al. Alterações físico-químicas durante o processo de fermentação da cerveja. In: CERVECÓN – CONGRESSO LATINO MERICANO E BRASILEIRO DE CIÊNCIA E MERCADO CERVEJEIRO, 2016, Blumenau. Anais... Blumenau: Escola Superior de Cerveja e Malte, 2016.

Pires,P,V , Março 2017-PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL PORTAL AGRICULTURA. MAPA informa: As cervejarias continuam a crescer. Disponível em: . Acesso em: 04 março 2020.

RAMOS, G. C. B.; PANDOLFI, M. A. C. A EVOLUÇÃO DO MERCADO DE RETTBERG, N .; BIENDL, M.; GARBE , L.; J. Am. Soc. Brew. Chem. 2018, 76, 1ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja . Quím. Nova esc. São Paulo. v. 37, n.2, p. 98-105, 2015

Revista beer Art https://revistabeerart.com/news/cervejarias-brasil#google_vignette= Acesso Junho 2021

ROCHA, F. Distribuição e ecologia do Lúpulo (*Humulus lupulus* L.). Universidade do Minho. [S.l.]. 2005.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. Quím. nova esc. São Paulo, V. 37, p. 98-105, n 2, 2015

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. Quím. nova esc. São Paulo, V. 37, p. 98-105, n 2, 2015.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. Cervejas e refrigerantes. CETESB companhia de tecnologia de saneamento ambiental. são Paulo 2005.

São Carlos July/Sept. 1997-Polímeros vol.7 no.3-Análise de falhas em materiais através de técnicas avançadas de microscopia

SCHÖNBERGER, C. Bitter is better: a review on the knowledge about bitterness in beer. 15f. Acesso em: 15 de maio de 2021.

SCHUH, S. Matérias-primas e etapas de processamento para elaboração de cerveja. 1º simpósio de agronomia e tecnologia de alimentos. s.d.

SENAI. Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro. Tecnologia cervejeira. SENAI, Agraria, Centro de Tecnologia SENAI – alimentos e bebidas. 2014. 284p.

SERAFINI, L.A. et al, 2001. Tecnologia limpa na extração de tanino vegetal. IV Simpósio de Ciência e Tecnologia da Universidade de Caxias do Sul. Resumos. P.103

SHARPE; LAWS,- THE ESSENTIAL OIL OF HOPS A REVIEW - March-April

1981

SILVA MARI L, Determinação de humulonas e lipolonas em lúpulo por microextração em fase líquida com fibra oca e cromatografia líquida e alta eficiência. Intituição de Química de São Carlos São Paulo, 2020

SILVA, D. P. Produção e Avaliação Sensorial de Cerveja obtida a partir de mostos com elevadas concentrações de açúcares. Lorena - SP, 2005. Disponível em: . Acesso em julho de 2021

SILVA, H. A. S.; LEITE, M. A.; VIEIRA, A. R. P; Cerveja e sociedade. Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade, São Paulo: Centro Universitário Senac, Vol. 4 n 2, mar. 2016. Disponível em: Acesso em julho 2021.

SILVA, P. H. A.; FARIA, F. C. Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, v. 28, n. 4, p. 902-906, Outubro-Dezembro. 2008.

SILVA, Paulo Henrique Alves da; FARIA, Fernanda Carolina de. Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas (SP), v. 28, n. 4, p. 902-906, out./dez. 2008.

SILVEIRS C J, BUSATO V N, COSTA S O A, JUNIOR C F, LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS UFES – Universidade

SINDICERV -Sindicato nacional da indústria cervejeira
<https://www.sindicerv.com.br/> -acesso dia 05/07/2021

SMITH, N. 2013 BJCP Exam Study Group Class 4: Hops. 2013.

Sonia C. N. Queiroz, Carol H. Collins e Isabel C. S. F. Jardim -MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E/OU CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ENCONTRADOS EM TOSTES, L. R. M. Instrumentação e controle do processo de produção de uma microcervejaria. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015

TOSTES, L. R. M. Instrumentação e controle do processo de produção de uma

TZIA, C.; LIADAKIS, G. Extraction optimization in food engineering. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.

Vargas, E, C. abril 2005- EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA DO ÓLEO ESSENCIAL DO ABAJERU (CHRYSOBALANUS ICACO).

VERZELE, M.; DE KEUKELEIRE, D. The chemistry and analysis of hop and beer bitter acids. Elsevier Science Publishers, p. 3. 1991.

WECKL, Alexander. Lúpulo: Um Breve Tour. Disponível em http://www.beerplanet.com.br/downloads/BeerPlanet-Palestra_L%C3%BApulosAlexander_Weckl.pdf> Acessado em junho 2021.