

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

RAFAEL ANTÔNIO SEABRA DOURADO

**ESTUDO COMPARATIVO DA LUPULAGEM EM PROCESSO DE DRY HOPPING
DINÂMICO EM CERVEJARIA ARTESANAL**

LONDRINA

NOVEMBRO, 2021

Rafael Antônio Seabra Dourado

**ESTUDO COMPARATIVO DA LUPULAGEM EM PROCESSO DE DRY HOPPING
DINÂMICO EM CERVEJARIA ARTESANAL**

Estudo de Caso elaborado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Química, ofertada pelo Departamento Acadêmico de Engenharia Química, do Campus Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profº Dr. Admilson Lopes Vieira

LONDRINA

NOVEMBRO, 2021

RAFAEL ANTONIO SEABRA DOURADO

**ESTUDO COMPARATIVO DA LUPULAGEM EM PROCESSO DE DRY HOPPING
DINÂMICO EM CERVEJARIA ARTESANAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30 de novembro de 2021

Admilson Lopes Vieira
Doutor em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lisandra Ferreira de Lima
Doutora em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maurício Jesus Tavares Souza
Cervejeiro
Fábrica 1 Microcervejaria

RESUMO

O processo de dry hopping tem por objetivo extrair substâncias aromáticas dos lúpulos (óleos essenciais), através da extração líquido-líquido da flor em pellets para a cerveja ou chopp. O processo pode ser feito de várias maneiras, cada uma com seus pontos positivos e negativos. No presente trabalho foi avaliado o aumento de forças motrizes de transferência de massa para maior extração e possíveis reajustes na dosagem, a fim de se atingir um patamar ótimo onde a quantidade de insumo utilizada seja a menor possível e o processo demore menos tempo, porém, sem que haja perdas sensoriais e sempre mantendo a qualidade do produto final: o Chopp Hop Lager da empresa Fábrica 1 – Micro Cervejaria Gastronômica da cidade de Londrina. Foi atingido um patamar de queda na utilização em 75 % para uma variedade de lúpulo e o processo durou cerca de 18 horas a menos, aumentando a capacidade de produção da empresa.

ABSTRACT

The dry hopping process aims to extract the hop's aromatic substances (essential oils), through the liquid-liquid extraction of the flower in pellets towards the beer or draft beer. There are many manners to do this process and each one has its harms and benefits. This work evaluates the increase in the mass transfer driving forces for a better extraction, and possible readjustments on the dosage, in order to reach an optimal level where the mass of inputs is as small as possible and reducing the method time, however, the sensory characteristics must be preserved, as long as the quality of the final product: the Hop Lager of the company Fabrica 1 – Micro Cervejaria Gastronômica homed in the city of Londrina. A 75% drop in use was reached for one variety of hop and the process took about 18 hours less, increasing the company's production capacity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	DESCRIÇÃO DA EMPRESA	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1	Moagem do Malte	10
3.2	Mosturação	10
3.3	Filtragem e Clarificação do Mosto	10
3.4	Fervura	11
3.5	Fermentação	11
3.6	Maturação	12
3.7	Lupulagem	13
3.7.1	Ação dos Lúpulos na Cerveja	13
3.7.2	Dry Hopping (lupulagem a frio)	15
4	METODOLOGIA	16
4.1	Análises do Chopp base tipo Pilsen	19
4.2	Parâmetros de Operação	20
4.3	Análise Sensorial de Aceitação	21
4.4	Análise Econômica	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5.1	Chopp base tipo Pilsen	22
5.2	Comparação entre os Lotes de Hop Lager	23
5.3	Estudo Econômico	27
6	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	30
	ANEXOS	32

ANEXO A

32

ANEXO B

33

1 INTRODUÇÃO

A problemática abordada neste estudo diz respeito aos parâmetros utilizados para aumentar a transferência de massa no processo de lupulagem à frio na Cervejaria Fábrica 1 situada na cidade de Londrina. O processo em si, amplamente conhecido como dry hopping, é definido como uma adição de lúpulos em fase fria (após toda a atividade fermentativa das leveduras cervejeiras) que trás diferentes sabores e aromas provenientes da diversa gama de substâncias presente em sua composição.

Os lúpulos são plantas trepadeiras de nome científico Humulus Lupulus que são cultivadas geralmente em ambientes mais frios, sendo a Europa e América do Norte os principais produtores desta matéria prima cervejeira. A planta possui os sexos feminino e masculino, contudo apenas as plantas fêmeas são utilizadas para os fins cervejeiros pois nelas existem glândulas lupulinas, que produzem as resinas e óleos de grande interesse para obtenção de aroma, sabor e amargor¹.



Figura 1: Lúpulo em pellet

Fonte: Agrária

Por terem origem importada e cultivo dificultado em climas tropicais, uma das principais despesas e o insumo mais caro da cervejaria são os lúpulos. Pensando nisso, é necessário realizar ajustes nos procedimentos fabris sempre que existem variações da safra tanto para o lúpulo quanto para qualquer outra matéria prima

como, por exemplo, o malte utilizado na brassagem. Portanto, o conhecimento dos conceitos de fenômenos de transporte, se faz necessário para realizar estes ajustes de forma satisfatória. O objetivo deste trabalho é analisar as mudanças sensoriais ocasionadas quando se alteram parâmetros relacionados à transferência de massa no processo de dry hopping, como por exemplo: temperatura de extração, quantidade de lúpulos por litro de cerveja, fração de óleos essenciais nos hop pellets, regime de escoamento, nível de carbonatação e tempo de extração, entre outros.

O estudo em questão foi desenvolvido a partir de uma orientação da gestão de alterar a temperatura inicial de extração para 17°C e manter esta temperatura até a finalização do dry hopping, com o intuito de se obter uma maior taxa de extração dos compostos aromáticos dos lúpulos para a cerveja base.

2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A Fábrica1, fundada em 2005 na cidade de Londrina, é considerada uma das pioneiras no Paraná em quesito de Chopp Premium. Desde o início o conceito sempre foi o mesmo: menor quantidade e maior qualidade. Com uma gama de produtos composto por diversos tipos de cervejas, como Session Ipa, Pale Ale, Hop Lager, Black Ipa, American Ipa, Pilsen, entre outros, a empresa é conhecida por ter se tornado referência no setor de cervejas de qualidade na região².

Alguns anos após sua fundação, a cervejaria passou por uma readequação da estrutura e modernização advinda de uma troca na sua gestão. O comando da cervejaria foi assumido por jovens empresários que, com o mesmo pensamento de cervejas de qualidade, lançaram um novo conceito para o mercado, com novos processos logísticos².

Sempre buscando estilo e inovações em seus processos, a cervejaria em questão zela pela pureza e qualidade de seus produtos, conquistando cada vez mais apreciadores de uma bebida marcante².

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Moagem do Malte

Nesta etapa, as sacarias de malte de cevada que estão armazenadas em sala desumidificada são levadas até o moinho de rolos para o processo de cisalhamento dos grãos e exposição do amido. Nesta etapa deseja-se que todos os grãos sejam moídos igualmente, pois aqueles que não são moídos adequadamente não contribuem para fornecer os açúcares fermentáveis; contudo, uma moagem muito fina pode ocasionar empacotamento na tina de filtragem presente na estação de brassagem.

Em várias indústrias cervejeiras, suplementos não maltados são adicionados ao malte para redução de custos, além de aumentar a eficiência do processo, estabilizar e atribuir sabores e aromas diversificados. Esses coadjuvantes variam de arroz, trigo, milho, cevada não maltada e açúcar³. Contudo, a Fábrica¹ opta pela utilização apenas do cereal maltado, garantindo melhor qualidade ao produto final.

3.2 Mosturação

Nesta etapa ocorre a adição do malte em uma tina com água aquecida, para criação do mosto primário. Nesta tina, rampas de temperatura, com tempos pré determinados para cada cerveja, são aplicadas no intuito de ativar as enzimas para hidrolisar o amido em açúcares de cadeia menor, fermentáveis. Esta etapa é responsável por parte do aroma e cor da cerveja, bem como a determinação do corpo da bebida (fração de sólidos não fermentáveis que restam após a maturação)⁴.

Após esta etapa, o mosto tem sua temperatura elevada para 76°C para inativação das enzimas e prosseguimento à próxima etapa.

3.3 Filtragem e Clarificação do Mosto

O mosto primário proveniente da mostura passa por um filtro com fundo falso que é responsável por separar o bagaço de malte, composto pelas cascas do grão anteriormente moído. O equipamento também realiza a clarificação do mosto através de uma recirculação, onde a própria cama de bagaço residual auxilia na obtenção de uma solução açucarada mais límpida possível. Nesta etapa, os açúcares presos na torta de filtragem são captados pelo próprio mosto recirculado, aumentando a eficiência do processo.

3.4 Fervura

Após a clarificação, o mosto é bombeado para a tina de fervura. Nesta, ocorre o aumento da temperatura até o ponto de ebulição (por volta de 100°C) para promover a concentração do mosto através da evaporação de água e outros componentes voláteis como, por exemplo, compostos sulfurados indesejáveis e para clarificação e estabilização físico-química, via precipitação de complexos floculados presentes no mosto. A estabilização biológica também é atingida nesta etapa por meio da remoção de microrganismos indesejáveis e fixação dos níveis de açúcares fermentáveis pela inativação das enzimas⁵.

Nesta etapa acontece a adição de lúpulos com alto teor de alfa-ácidos, para conferir amargor à bebida. Os alfa ácidos são componentes que, em presença de calor intenso, isomerizam em iso alfa-ácidos, substâncias com que trazem o amargor característico de cada estilo. Em geral, estes lúpulos são adicionados no início da fervura para aproveitamento do calor para promover a isomerização⁵.

Logo após o período de fervura, o mosto é levado ao trocador de calor de placas para atingir a temperatura de fermentação (por volta de 11°C) e ser levado ao reator fermentativo.

3.5 Fermentação

Com o volume determinado de mosto no interior do tanque de fermentação, ocorre então a inoculação da levedura cervejeira, cujo papel é utilizar os substratos açucarados para sua sobrevivência. Em seu metabolismo aeróbico, a levedura consome todo o oxigênio dissolvido no mosto para se multiplicar e se propagar. O oxigênio é adicionado ao mosto numa concentração de 8 à 10 mg/L como nutriente essencial para o metabolismo oxidativo do microorganismo⁶.

A injeção do gás oxigênio em geral é feita diretamente no mosto, em bolhas pequenas, onde o ar é estéril. Esse método tem como vantagem uma mistura eficiente no mosto para que uma amostra representativa possa ser obtida para determinação da concentração de sólidos, fator importante para o acompanhamento da fermentação³.

Nesta fase aeróbica inicial, as leveduras se reproduzem num ambiente propício de pH, temperatura e nutrientes, aumentando sua quantidade de 2 a 6 vezes. Em seguida se inicia a fase anaeróbica, onde as leveduras promovem a fermentação propriamente dita sem se multiplicar; biotransformando os açúcares presentes no mosto em gás carbônico e álcool. O resultado é um líquido menos doce, mas enriquecido em corpo, álcool e sabor⁵.

Em geral, existem dois tipos de fermentações comuns – ale e lager, embora exista uma grande variedade de diferentes sistemas de fermentação. De forma resumida, a fermentação ale utiliza a levedura (de nome científico *Saccharomyces cerevisiae*) de alta fermentação inoculada a 18 à 22°C, onde os microorganismos atuam na superfície do mosto. Esta fermentação é rápida e exotérmica. Quanto à fermentação lager, de baixa fermentação, o processo ocorre numa temperatura de 7 a 15°C, onde as leveduras (de nome científico *Saccharomyces pastorianus*) precipitam para o fundo do tanque⁷.

Após o processo fermentativo obtém-se o mosto já alcoólico chamado de cerveja “verde”. Esta líquido, com pH de 4,0 a 4,6, apresenta um excesso de levedo em seu corpo que pode ser expurgado durante a maturação⁷.

3.6 Maturação

O processo ao qual a cerveja “verde” passa para produção de uma bebida estável é chamado de maturação, que se trata de um condicionamento a frio. Os principais objetivos nesta etapa são: formação de complexos em suspensão; clarificação e carbonatação forçada.

O condicionamento da cerveja é tido em temperaturas baixas por volta de 0°C por 10 a 60 dias para estabilização e sedimentação natural das leveduras e outros complexos em suspensão. Além disso, pode-se desencadear algumas reações de esterificação, produzindo aromatizantes essenciais para a cerveja, bem como a fermentação dos açúcares que não foram convertidos durante a etapa anterior⁷.

Tipicamente, a cerveja repousa e matura diretamente em contato com os resíduos das leveduras, por alguns dias. Nos tanques deve existir uma saída para gases com selamento hidráulico para expurgar quaisquer odores de compostos sulfurados. O selamento hidráulico serve para que o ar atmosférico, com oxigênio em sua composição, não retorne ao tanque promovendo a oxidação indesejada da cerveja³.

3.7 Lupulagem

3.7.1 Ação dos Lúpulos na Cerveja

Os lúpulos são inicialmente adicionados ao mosto no momento inicial da fervura, para que os α -ácidos possam ser isomerizados em iso- α -ácidos, substância que confere amargor ao produto, e outras adições mais tardias durante a fervura com lúpulos de aroma. O momento da adição e quantidade a ser adicionada deve levar em conta alguns parâmetros como o perfil de aroma e amargor da cerveja a ser produzida, o tipo de lúpulo utilizado, tempo e temperatura. Como alternativa, o lúpulo pode ser utilizado na cerveja após o processo fermentativo, denominado dry-hopping ou lupulagem a frio⁸.

As concentrações de iso- α -ácidos na cerveja em geral têm uma variação de 15 a 100mg/L. A fervura por muito tempo gera uma perda dos iso- α -ácidos e por conseguinte do amargor do produto. Os componentes principais de sua composição são: os trans-e cis-isômeros de isocohumulona, isohumulona e isoadhumulona⁹. O

conjunto dos isômeros da isohumulona propicia mais amargor à cerveja do que apenas a trans-isohumulona¹⁰.

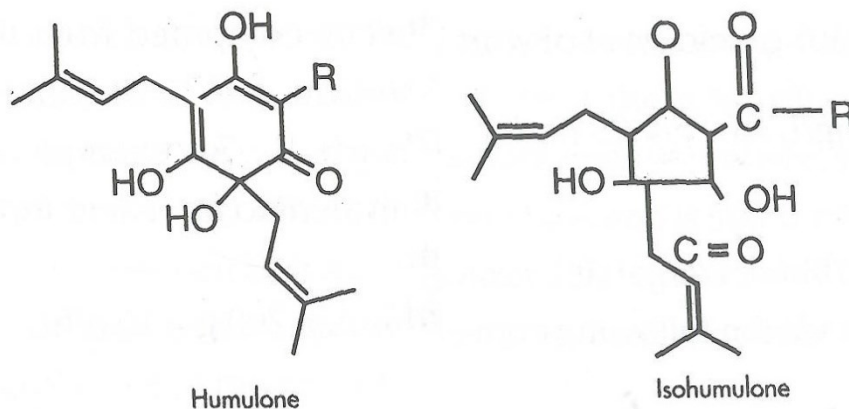


Figura 2: Alfa ácido de humulona e seu isômero isohumulona.

Fonte: RotenfussBier

Os iso- α -ácidos e seus isômeros geram por volta de 85% do amargor da cerveja. Todavia, os polifenóis do lúpulo também influenciam sensorialmente no amargor e na adstringência da bebida. Os polifenóis flavan-3-óis, como a catequina e a epicatequina, podem também fornecer amargor a cerveja. Contudo, os flavan-3-óis podem intensificar o sabor de “metálico” e “medicinal” na bebida, mesmo prolongando a duração do amargor¹⁰.

Em questão de aroma, as moléculas de linalol e giraniol se destacam como os compostos de maior impacto em cervejas com aroma de lúpulo, podendo ser encontrado em altas concentrações. Existe também uma preocupação com os possíveis aromas indesejados, advindos do lúpulo, que surgem na bebida durante o seu armazenamento. Os aromas indesejáveis surgem em geral por ésteres e grupos carbonil, mas também são fortemente influenciados por substâncias sulfurosas, cetonas, aldeídos e ácidos com alta volatilidade⁸.

Os aromas do lúpulo são normalmente definidos como herbal, cítrico, frutado, gramíneo ou floral. Dessa forma, se faz necessário ter conhecimento do tipo de aroma que cada lúpulo traz para a cerveja, pois seu uso dependerá do estilo de bebida que será produzido e da técnica de lupulagem a ser utilizada¹².

Um dos motivos do lúpulo ser considerado uma das matérias primas essenciais na produção de cerveja é o seu poder de inibição de microorganismos. As resinas presentes em sua composição, dentre elas os α - e β -ácidos, são os responsáveis pela estabilidade da espuma, digestibilidade fisiológica e pelo poder de inibição microbiana. As moléculas não isomerizadas dos α -ácidos possuem de três a quatro vezes mais efeito antimicrobiano do que os iso- α -ácidos¹³.

3.7.2 Dry- Hopping (lupulagem a frio)

A técnica de utilização do lúpulo na fase fria, mais comumente chamada pelo seu nome em inglês de dry-hopping, vem sendo abordada na literatura desde o início do século XIX, entretanto, estudos científicos aprofundados neste processo eram escassos. Pouco se sabe sobre as substâncias que são transmitidas do lúpulo para a cerveja durante este processo, ou seja, como a lupulagem a frio afeta as propriedades físico-químicas, que tipo de lúpulo utilizar e como utilizá-lo.

Existem várias técnicas de lupulagem a frio que são utilizadas por cervejeiros artesanais, porém as grandes cervejarias também as utilizam e até desenvolveram algumas delas. Essas técnicas consistem principalmente em manter o lúpulo em contato com a cerveja durante um determinado tempo e temperatura, seja apenas adicionando o lúpulo no tanque de maturação (processo chamado de dry hopping estático) ou mesmo utilizando a técnica do dry hopping dinâmico, que consiste em bombear a cerveja para um filtro externo ao tanque, onde os lúpulos são colocados e se tem a ação mecânica do líquido no hop pellet. Dessa forma, é possível garantir uma extração máxima dos óleos totais em um tempo menor¹⁴.

Um dos primeiros estudos científicos sobre a lupulagem a frio, realizado por Mitter e Cocuzza avaliou alguns aspectos do processo como técnica, tempo, temperatura, pressão, carbonatação, quantidade e tipo de lúpulo utilizado e seu impacto nas concentrações de linalol e α -ácidos na cerveja. A temperatura mostrou-se como fator determinante, sendo que à 20°C a extração de α -ácidos foi maior e mais rápida, porém apresentando um decréscimo da sua concentração no produto após o terceiro dia de maturação. Apesar da extração do linalol ter sido mais rápida

à temperatura mais baixa (4°C), após o período de maturação sua quantidade foi não se alterou para o processo estático¹⁵.

Segundo o mesmo estudo, o uso do lúpulo em sacos finos (hop bag) mostrou ser menos eficiente do que deixar os lúpulos soltos no tanque, fator que pode ser explicado pelo aumento da superfície de contato quando se tem os pellets soltos. O tempo não apresentou impacto significativo nas concentrações de linalol e de α -ácidos, embora existam muitos outros compostos a serem analisados.

Forster e Gahr (2013) estudaram cinco cervejas sendo um controle, sem dry hopping, e outras quatro com a lupulagem a frio. Os resultados mostraram que existe maior concentração de α -ácidos e de substâncias aromáticas nas cervejas com dry-hopping. O linalol, por exemplo, principal composto que trás aroma foi encontrado em uma concentração de 38 μ g/L na cerveja que não passou pelo processo de dry hopping, enquanto que em uma das amostras com lupulagem a frio a concentração foi de 103 μ g/L¹⁶.

Dresel et al. revelaram que, entre os compostos aromáticos, apenas o linalol e o geraniol possuem taxa de transferência de massa significativa, e que há um impacto sensorial devido a variedade de lúpulo utilizada. Na análise sensorial foi avaliada a intensidade e qualidade do aroma, do corpo e do amargor. As cervejas com dry-hopping obtiveram maior distinção na intensidade de aroma de lúpulo.

A lupulagem a frio aumenta a concentração dos α -ácidos, não afetando o amargor da cerveja, por não ocorrer a isomerização das moléculas, contudo, o processo aumenta a estabilidade da espuma e diminuindo o risco de deterioração do produto por bactérias, ainda assim, se faz necessária a elucidação de alguns parâmetros dos métodos de dry hopping, dentre eles: a dosagem do lúpulo, o tempo de contato, o lote e a variedade a ser utilizada¹⁵.

4 METODOLOGIA

O processo de lupulagem a frio na Fábrica 1 é realizado através de um filtro externo ao tanque, que possui uma para dosagem de produtos químicos na sua

sanitização, um filtro propriamente dito com 30 placas distantes 3 centímetros entre si com espaçadores, nas quais os lúpulos são colocados, e uma bomba para o translado da bebida nas placas do filtro.



Figura 3: Filtro utilizado no dry hopping.

Fonte: Autoria Própria



Figura 4: Lúpulos em pellet nas placas do filtro.

Fonte: Autoria Própria

O chopp Hop Lager é produzido através do processo de dry hopping de um chopp base do tipo Pilsen, isto é, o nome do produto muda após a adição de lúpulo a frio. O chopp Pilsen passa pelo processo de fermentação e início de maturação à 0°C, durante a qual a lama de levedura sedimenta após 5 dias e sua coleta é realizada pela válvula inferior:



Figura 4: Tanque fermentador/maturador.

Fonte: Autoria Própria

Para a produção do Hop Lager, duas variedades de lúpulo são adicionadas ao filtro (para trabalharem em sinergia para conferir aroma e sabor ao produto final), que serão aqui identificadas como “Lúpulo A” e “Lúpulo B”. Os certificados de análise técnica de cada lúpulo, emitidos pelo fornecedor, estão presentes nos Anexos A e B.

4.1 Análises do Chopp base tipo Pilsen.

Para as análises do chopp base do tipo Pilsen utilizado na lupulagem a frio foram necessários os seguintes equipamentos presentes no laboratório da empresa e laboratório terceirizado:

- 1 Refratômetro
- 1 Densímetro
- 1 Alcoômetro
- 1 pHmetro
- 1 Microscópio óptico

- 1 Câmara de Neubauer
- 1 Espectrofotômetro

E assim foram realizadas as seguintes análises:

- OG (*Original Gravity*) que representa a densidade relativa do mosto em relação à água.
- FG (*Final Gravity*), que representa a densidade relativa da cerveja em relação à água após a fermentação.
- Extrato Primário, que representa a concentração de sólidos no mosto.
- Extrato Final, que representa a concentração de sólidos após a fermentação.
- pH Final da cerveja.
- ABV (*Alcohol by volume*), que representa a quantidade de álcool presente na cerveja.
- IBU (*International Bitterness Unity*), que representa o teor de amargor da cerveja.
- EBC (*European Brewing Convention*), escala que representa a cor da bebida.
- Pitch Rate (Taxa de inoculação de células de levedura no mosto).

4.2 Parâmetros de Operação.

Para a produção de uma batelada de 2000L de Hop Lager, é necessário ter conhecimento dos parâmetros de operação do filtro de dry hopping, pois através deles é possível realizar ajustes para se obter metodologias de extração diferentes. Os principais parâmetros ajustáveis são:

- 1) Espaçamento entre as placas do filtro (cm);
- 2) Carga máxima de lúpulo por placa (kg);
- 3) Temperatura inicial da cerveja (°C);
- 4) Temperatura final da cerveja (°C);
- 5) Pressão obtida no filtro (bar);
- 6) Nível de carbonatação da cerveja (volume de CO₂);

- 7) Tempo de circulação da cerveja no filtro (h);
- 8) Dosagem de lúpulo por litro de cerveja (kg);
- 9) Massa Lúpulo A (kg);
- 10) Massa Lúpulo B (kg);

Para efeito de comparação, o lote do produto antes de qualquer alteração será chamado de “Lote Original” e segue as recomendações de 1 à 10 citadas acima. A orientação da gestão de se alterar a temperatura inicial de extração de 4°C para 17°C (alteração do parâmetro 3) gerou o produto cujo lote aqui será identificado como Hop Lager “Lote 2021-A”. Os lotes subsequentes 2021-B, 2021-C, 2021-D possuem alterações de parâmetros operacionais conforme a Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Parâmetros utilizados em cada lote estudado.

Parâmetro	Lote Original	Lote 2021-A	Lote 2021-B	Lote 2021-C	Lote 2021-D
1	3 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
2	800g	800g	700g	650g	600g
3	4°C	17°C	17°C	17°C	16°C
4	12°C	20°C	17°C	17°C	16°C
5	2 bar	2 bar	2 bar	1 bar	1 bar
6	0	0	2,6	2,6	2,6
7	20 horas	20 horas	4 horas	3 horas	3 horas
8	4,0 g/L	4,0 g/L	3,0 g/L	2,65 g/L	3,25 g/L
9	6,0 kg	6,0 kg	4,5 kg	4,0 kg	4,5 kg
10	2,0 kg	2,0 kg	1,5 kg	1,3 kg	2,0 kg

Fonte: Autoria Própria

4.3 Análise Sensorial de Aceitação

A análise sensorial foi realizada pelo corpo técnico da Fábrica, composto por três mestres cervejeiros e um analista de qualidade. Dentre os aspectos analisados, destacam-se:

Aroma: classificado como herbal, cítrico, amadeirado, floral, frutado, sulfuroso, especiarias.

Paladar e retrogosto (sabor deixado na boca): classificado como picante, herbáceo vegetal, gramíneo, maltado, maracujá, metálico, resinoso, flat (pouca carbonatação), harsh (amargor ruim), adstringente, ácido.

Cor: classificada como turva, límpida, amarelo claro, amarelo escuro, âmbar, acobreado, preta.

Espumação: classificada como densa, cremosa, fina (bolhas maiores), instável, estável.

Teor alcoólico: classificado como alta média ou baixa percepção.

4.4 Análise Econômica

A análise econômica será feita a partir das novas quantias de lúpulo que serão utilizadas para a produção do chopp Hop Lager via dry hopping dinâmico, mediante uma projeção de produção anual em litros. As flutuações no preço do quilograma dos lúpulos A e B utilizados apenas serão consideradas quando a variação for superior à 3% no ano e o insumo será comprado com o fornecedor cujo preço é o menor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Chopp base tipo Pilsen:

Com base nas análises regidas no laboratório da empresa e laboratórios terceirizados, os resultados encontrados para caracterizar o chopp base para o Hop Lager, foram:

Tabela 2: Resultados das análises de caracterização do chopp base.

Item	Resultado
OG (adimensional)	1,041
FG (adimensional)	1,007
Extrato Primário (°P)	10,7

Extrato Final (°P)	5,6
pH (adimensional)	4,7
ABV (% v/v)	4,5
Amargor (IBU)	9
Cor (EBC)	5
Pitch Rate (células de levedura vivas)	7×10^{12}

Fonte: Autoria Própria

A partir destes resultados, é possível inferir que a bebida utilizada para a produção do produto Hop Lager apresenta cor clara, amargor moderado, corpo médio bem como seu teor alcoólico. Estes resultados mostram que as características estão de acordo com o que se espera deste estilo de chopp, que possui baixa fermentação (do grupo das Lagers) com amargor baixo ou moderado, teor alcoólico por volta de 3,5% a 5%, sabor suave e coloração dourado/translúcida.

Sua suavidade, advinda da escolha correta dos lúpulos, foi responsável por fazer deste estilo o predileto no Brasil, pois combina com o clima tropical do país, além de acompanhar bem pratos leves como nozes, castanhas, amendoins e queijos leves (Chefe com Cerveja, 2016).

5.2 Comparação entre os lotes de Hop Lager:

A partir das análises sensoriais de aceitação realizadas pelo corpo técnico presente na Fábrica 1, os seguintes resultados foram encontrados:

Quadro 1: Resultados sensoriais do Lote Original

Lote: Original	
Aroma	Floral e cítrico de baixa intensidade

Paladar	Herbáceo vegetal e gramíneo intensos, levemente resinoso e com amargor harsh.
Cor	Amarelo claro, muito límpida
Espumação	Densa e cremosa
Teor Alcoólico	Baixa percepção

Fonte: Autoria Própria

Este lote, cuja metodologia de produção se deu por vários anos, apresentou uma boa aceitação, contudo, o tempo de extração no dry hopping (aproximadamente 20 horas) limitava a capacidade de produção do Chopp em 4000L por semana, levando em conta o tempo que o processourgia para alcançar as características desejadas.

Quadro 2: Resultados sensoriais do Lote 2021-A

Lote: 2021-A	
Aroma	Muito intenso, herbal, especiarias (indesejado)
Paladar	Herbáceo vegetal e gramíneo muito intensos, resinoso e amargor harsh.
Cor	Amarelo escuro, muito límpida

Espumação	Densa e cremosa
Teor Alcoólico	Baixa percepção

Fonte: Autoria Própria

Em geral, estas características deste lote podem ser explicadas pelo fato de ocorrer um aumento de temperatura, aumento do espaçamento das placas e preservação das 20 horas de extração bem como da dosagem dos lúpulos, o que trouxe uma bebida com características mais intensas e muitas vezes indesejadas como, por exemplo, a coloração levemente mais escura, o aroma de especiarias e o paladar gramíneo/vegetal.

Quadro 3: Resultados sensoriais do Lote 2021-B

Lote: 2021-B	
Aroma	Floral e cítrico intensos
Paladar	Herbáceo vegetal e gramíneo moderados, levemente resinoso e com amargor harsh e retrogosto picante.
Cor	Amarelo claro, límpida
Espumação	Densa e cremosa
Teor Alcoólico	Baixa percepção

Fonte: Autoria Própria

O Lote 2021-B teve como principais alterações a diminuição do tempo de extração e da dosagem de lúpulos, que caiu 75% em relação ao Lote Original, porém mantendo a proporção entre os Lúpulos A e B. Esta queda no tempo de

extração pode justificar a coloração ter se mantido como amarelo claro, visto que a cerveja ficou menos tempo em contato com o lúpulo. Contudo, o paladar herbáceo vegetal e gramíneo, indesejados quando muito presentes, ainda foram notados pelo corpo técnico da empresa. A carbonatação prévia do chopp com 2,6 volumes de CO₂ adiantou o processo pois ao final do dry hopping, não é necessário carbonatar a bebida.

Quadro 4: Resultados sensoriais do Lote 2021-C

Lote: 2021-C	
Aroma	Floral e cítrico leves
Paladar	Herbáceo vegetal e gramíneo ausentes, não resinoso e sem amargor harsh.
Cor	Amarelo claro, levemente turva
Espumação	Densa e cremosa
Teor Alcoólico	Baixa percepção

Fonte: Autoria Própria

O Lote 2021-C apresentou, dentre todos, características mais brandas em relação ao paladar e aroma; o sabor gramíneo não foi percebido e o aroma floral/cítrico característicos do estilo estavam levemente abaixo do que se espera. A turbidez se manteve mais alta devido ao fato da bebida ter passado pelo filtro de dry hopping por um tempo menor. A utilização da pressão de 1 bar, ao invés de 2 bar, pode explicar a ausência dos paladares antes percebidos.

Quadro 5: Resultados sensoriais do Lote 2021-D

Lote: 2021-D	
Aroma	Floral e cítrico intensos
Paladar	Herbáceo vegetal e gramíneo leves, não resinoso e sem amargor harsh.
Cor	Amarelo claro, levemente turva
Espumação	Densa e cremosa
Teor Alcoólico	Baixa percepção

Fonte: Autoria Própria

Em geral, o Lote 2021-D teve um aumento de dosagem dos lúpulos em relação ao lote anterior para tentar se buscar mais aroma e uma percepção leve de herbáceo vegetal. Para isso experimentou-se uma alteração da proporção entre os lúpulos A e B, resultando num produto dentro dos padrões de aceitação sensorial utilizando um tempo de processo menor em relação ao Lote Original. A adequação do paladar pode ser explicada pela diminuição da dosagem do Lúpulo A que consequentemente diminuiu a extração do óleo essencial Farneseno, que aparece em quantidade 7 vezes maior no Lúpulo A em relação ao Lúpulo B, conforme os Anexos I e II.

A partir deste lote foi definida a nova metodologia de produção, que sofrerá futuras alterações apenas se houverem safras de lúpulo com características técnicas (conforme os Anexos I e II) muito discrepantes.

5.3 Estudo econômico:

Os preços dos Lúpulos A e B não apresentaram flutuações expressivas, desta forma, foi estabelecido um preço médio do quilograma para cada um deles, cujos valores estão presentes na Tabela 3:

Tabela 3: Preço dos Lúpulos utilizados no chopp Hop Lager.

	Lúpulo A	Lúpulo B
Preço Médio (R\$/Kg):	134,66	291,83

Fonte: Departamento Financeiro da empresa.

A produção anual de Hop Lager para abastecer todos os pontos de venda se mantém em uma média de 111.280 L, sendo assim, eram necessários 333,84 kg do Lúpulo A e 111,28 kg do Lúpulo B considerando a metodologia utilizada no Lote Original, quando as alterações dos parâmetros técnicos ainda não haviam sido executadas. Isto acarretava numa despesa de R\$ 77.429,73 reais se baseando no preço médio de R\$ 134,66 reais para o Lúpulo A e R\$ 291,83 reais para o Lúpulo B conforme a Tabela 3.

Com a nova metodologia utilizada o Lote 2021-D, alcançada através das alterações dos parâmetros de operação do dry hopping, houve uma queda para 250,38 kg de Lúpulo A e mantiveram-se os 111,28 kg do Lúpulo B. Isto acarretou numa economia de R\$ 11.238,72 reais anualmente para a empresa.

6 CONCLUSÃO

A partir do presente estudo de caso foi possível identificar as dificuldades enfrentadas pelas cervejarias artesanais em estabelecer as quantidades e parâmetros operacionais a serem adotados para cada estilo de chopp a ser produzido. A complexidade na composição das matérias primas e a sinergia entre elas traz desafios aos cervejeiros e operantes da planta.

Dentre todos os fatores abordados no trabalho, a temperatura se apresenta como a que mais alterou o equilíbrio de extração dos óleos essenciais para o chopp,

contudo, a pressão com que a bebida transladou no filtro, o espaçamento entre as placas, a massa de lúpulo por placa, e a dosagem de lúpulos por litro de chopp contribuíram para uma diferença no produto final.

A temperatura se mostrou como um fator que acelera fortemente a extração dos compostos desejados bem como de compostos indesejados em níveis sensoriais mais altos. Um maior espaçamento entre as placas do filtro seguido de uma quantidade menor de lúpulo por placa contribuiu para um aumento na área de contato dos hop pellets, que, após o processo de dry hopping, ficam completamente desfeitos e esfarelados, o que indica uma livre passagem do chopp através deles, ou seja, não são formados caminhos preferenciais dentro do filtro.

De forma geral o produto se manteve no padrão de qualidade que existia antes de todas as alterações dos parâmetros de operação e uma economia de R\$ 11.238,71 foi anualmente alcançada; contudo, a economia mais expressiva foi no tempo utilizado no processo de dry hopping, que caiu em 85%, de aproximadamente 21 horas para 3 horas, que acarreta num aumento da capacidade de produção deste estilo de chopp de 4000L para aproximadamente 8.000L semanais levando em conta o tempo necessário para sanitização dos equipamentos e o tempo necessário para se elevar a temperatura do chopp entre uma produção e outra. Outro fator que deve ser levado em conta é a origem da água quente utilizada no trocador de calor casco tubo para se aquecer a cerveja; ela é aquecida através da troca térmica com o mosto vindo da fervura, sendo assim não se utiliza vapor adicional da caldeira para realizar este procedimento. A taxa alcançada de aumento de temperatura foi de 6°C/h para tanques grandes de 4000L e 9°C/h para tanques de 2000L.

A pesquisa e experimentação aqui abordadas abriram portas para futuros estudos da utilização dos lúpulos em outros estilos de chopps produzidos na planta, entre eles, o Session Ipa, que também utiliza as mesmas variedades de Lúpulos A e B em seu processo de dry hopping, para além de outras espécies.

REFERÊNCIAS

- 1 **Instituto da Cerveja**. Afinal o que o lúpulo faz realmente na cerveja? Disponível em: < <https://www.institutodacerveja.com.br/blog/n145/dicas/afinal-o-que-o-lupulo-faz-realmente-na-cerveja>> Acesso em 24 de junho de 2021.
- 2 **A Fábrica 1**. Disponível em: <<http://fabrica1cervejaria.com/>>. Acesso em 24 junho. 2021.
- 3 Eaton, B., 2017. **An Overview of Brewing**. *Handb. Brew.* 53–66. <https://doi.org/10.1201/9781351228336-3>
- 4 Carvalho, L. G. D., 2007. Dossiê Técnico: Produção de Cerveja – Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT. 1–55. Carvalho, L.G. De, 2007. Produção de Cerveja - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro 1–55.
- 5 Gibson, M., Newsham, P., 2018. Wine and Beer. *Food Sci. Culin. Arts* 373–397. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811816-0.00019-1>.
- 6 Delcor, A.L. de A., 2019. Análise técnico-econômica de uma indústria cervejeira artesanal 1–118.
- 7 Stewart, G. G., Russell, I., & Anstruther, A., 2017. *Handbook of Brewing*. CRC Press. 53-66.
- 8 EßLINGER, H. M. *Handbook of Brewing - Processes, Technology, Markets*. Weinheim, ed. Wiley-VCH GmbH & Co. 2009.
- 9 BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. *Brewing: Science and practice*. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, vol. 1, 2004.
- 10 ARON, P.; SHELLHAMMER, T. **A Discussion of Polyphenols in Beer Physical and Flavour Stability**. *Journal of the Institute of Brewing*. vol.116, n. 4, p. 369–380, 2010.
- 11 DRESEL, M.; PRAET, T.; VAN OPSTAELE, F.; VAN HOLLE, A.; NAUDTS, D.; DE KEUKELEIRE, D.; DE COOMAN, L.; AERTS, G. **Comparison of the Analytical Profiles of Volatiles in Single-Hopped Worts and Beers as a Function of the Hop Variety**. *Brewing Science*, vol. 68, p. 8-28, 2015.

- 12 ALMAGUER, C.; SCHÖNBERGER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T. Humulus lupulus – a story that begs to be told. **Journal of the Institute of Brewing**, vol. 120, p. 289–314. 2014.
- 13 PREEDY, V. R. Beer in Health and Disease Prevention. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2009.
- 14 SCHÖNBERGER, C. Hopfenstopfen – **gut gestopft ist halb gewonnen**. **Brauwelt**, vol. 9-10, p. 251-254, 2012
- 15 MITTER, W.; COCUZZA S. **Dry-hopping – A study of various parameters**. Brewing and Beverage Industry International, vol. 4, p.70-74, 2013.
- 16 FORSTER, A.; GAHR, A. On **the fate of certain hop substances during dry-hopping**, BrewingScience – Monatsschrift für Brauwissenschaft, vol. 66, p. 93-103, 2013.

ANEXOS

ANEXO A – Certificado de Análise: Lúpulo A

CARACTERÍSTICAS DE REFERÊNCIA

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
ALFA-ÁCIDOS	5 - 9		7,3
BETA-ÁCIDOS	5 - 6		6,5
COHUMULONE	33 - 40		CONFORME
ORIGEM	-		EUA
SAFRA	-		2019

CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
ASPECTO	GRANULADO		CONFORME
COR	VERDE ESCURO		CONFORME
ODOR	CARACTERÍSTICO		CONFORME

COMPOSIÇÃO DE ÓLEO

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
FARNESENE	6	%	CONFORME
HUMULENE	12	%	CONFORME
MYRCENE	53	%	CONFORME

FÍSICO - QUÍMICAS

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
HSI - HOP STORAGE INDEX	<0,4		0,248
ÓLEOS TOTAIS	1,0	%	1,6

Os resultados aqui informados são uma transição fiel do laudo original do fabricante.
Este documento perderá seu valor caso seja feita qualquer alteração em seu formato ou conteúdo.
Documento emitido eletronicamente. Não requer assinatura.

ANEXOS

ANEXO B – Certificado de Análise: Lúpulo B

CARACTERÍSTICAS DE REFERÊNCIA

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
ALFA-ÁCIDOS	11 - 14		14
BETA-ÁCIDOS	3 - 4,5		3,5
COHUMULONE	22 - 24		CONFORME
ORIGEM	-		EUA
SAFRA	-		2019

CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
ASPECTO	GRANULADO		CONFORME
COR	VERDE ESCURO		CONFORME
ODOR	CARACTERISTICO		CONFORME

COMPOSIÇÃO DE ÓLEO

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
FARNESENE	<1	%	CONFORME
HUMULENE	7 - 13	%	CONFORME
MYRCENE	60 - 70	%	CONFORME

FÍSICO - QUÍMICAS

Itens de controle	Limites de controle	Unidade	Avaliação
HSI - HOP STORAGE INDEX	<0,4		0,283
ÓLEOS TOTAIS	1,5 - 3,0	%	2,2

Os resultados aqui informados são uma transição fiel do laudo original do fabricante.
Este documento perderá seu valor caso seja feita qualquer alteração em seu formato ou conteúdo.
Documento emitido eletronicamente. Não requer assinatura.