



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CURSO DE QUÍMICA
TECNOLÓGICA

Santiago Alcides da Costa

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PÓLEN PARA
ACIDIFICAÇÃO DE CATARINA SOUR: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DA
CERVEJA.**

Brasília
2024

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA

Santiago Alcides da Costa

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PÓLEN PARA
ACIDIFICAÇÃO DE CATARINA SOUR: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DA
CERVEJA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Química Tecnológica do Instituto
de Química da Universidade de Brasília,
como requisito para obtenção do título
Bacharelado em Química Tecnológica, sob a
orientação da Profa. Dra, Grace Ferreira
Ghesti.

Brasília
2024

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PÓLEN PARA
ACIDIFICAÇÃO DE CATARINA SOUR: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA DA
CERVEJA.

Santiago Alcides da Costa

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Graduação em Química
Tecnológica da Universidade de Brasília como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Química Tecnológica, sob a orientação da
Profa. Dra, Grace Ferreira Ghesti.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Orientadora/Grace Ferreira Ghesti

Membro de Banca/Paulo Anselmo Ziani Suarez

Membro da Banca/Diego Coelho Barroso dos Santos

Data da Defesa: 10 de setembro de 2024

Brasília
2024

À minha esposa, Beatriz, pelo amor incondicional, paciência e apoio incansável em cada etapa desta jornada. Sua presença ao meu lado foi fundamental para que eu pudesse alcançar este objetivo. À minha família, por sempre acreditar em mim e me proporcionar a base sólida de valores e princípios que guiaram meu caminho até aqui. Aos meus amigos, Rafael, Luana, Lucas, Quezia e Isaac, por estarem presentes nos momentos de alegria e desafio dentro da faculdade, e por compartilharem comigo tantas risadas e aprendizados. À cervejaria Bracitorium, pelo espaço de inovação e pela confiança em meu trabalho, permitindo que eu pudesse transformar minha paixão em algo concreto e significativo.

"O microcosmo tem tanto para ensinar quanto o macrocosmo. Na fermentação de uma simples cerveja, há uma infinidade de maravilhas invisíveis que revelam os segredos da vida."

Louis Pasteur.

RESUMO

O presente trabalho explora a produção de uma cerveja do estilo Catharina Sour, tanto em escala laboratorial quanto industrial, utilizando pólen de abelha como agente acidificante. O tema central é a avaliação da viabilidade e eficácia do pólen de abelha na produção desse estilo de cerveja, comparando os resultados sensoriais e físico-químicos entre os dois ambientes de produção. O objetivo principal foi verificar se as características da cerveja se mantêm consistentes ao transferir a produção para uma escala industrial, além de analisar as dificuldades e desafios enfrentados no processo de industrialização, como a obtenção do pólen e o tempo prolongado de acidificação. Para atingir esses objetivos, a metodologia adotada seguiu processos similares de fabricação de cerveja, com adaptações necessárias para cada escala de produção. No laboratório, após a adição do pólen e um período de acidificação de 24 horas, o pH foi reduzido de 5,9 para 3,5, com uma densidade final de 1,002 (0,51 °P). Em escala industrial, o pH inicial de 5,4 caiu para 3,7 após a acidificação, resultando em uma densidade final de 1,008 (2,06 °P). Ambos os processos indicaram um comportamento semelhante, demonstrando a viabilidade do uso do pólen em grande escala. A análise microbiológica revelou a presença de bactérias lácticas frutofílicas, como *Fructobacillus* e *Lactobacillus*, no pólen, as quais são benéficas para a acidificação. A qualidade do RNA das amostras foi verificada, mostrando-se adequada para análise sequencial, com um RIN acima de 7 para as amostras de pólen e bactérias. Estes resultados confirmam que o pólen de abelha funciona como um agente acidificante eficaz e natural, promovendo características sensoriais distintivas nas cervejas do tipo Catharina Sour. Os resultados físico-químicos, incluindo o extrato primitivo e aparente, ABV, IBU e cor, demonstraram variações mínimas entre as produções laboratorial e industrial. O extrato primitivo foi de 7,55 °P na produção laboratorial e 8,47 °P na industrial, enquanto o ABV foi de 3,8% e 3,6%, respectivamente, ambos ligeiramente abaixo da faixa esperada para o estilo. As análises sensoriais indicaram que tanto a versão laboratorial quanto a industrial apresentaram um perfil de sabor equilibrado, com notas frutadas e uma acidez limpa, além de uma cor pálida e turva, características do estilo de cerveja do tipo Catharina Sour. Concluiu-se que a utilização do pólen de abelha como agente acidificante é promissora para a produção industrial, demonstrando um processo de escalonamento e de transferência de tecnologia bem-sucedida. Apesar dos desafios, como a dificuldade de obtenção do pólen e o tempo prolongado de acidificação, o pólen se mostrou um diferencial significativo,

especialmente para cervejarias menores que buscam inovação e sabores únicos. A redução do off-flavors de ácido valérico e a adição de sabores como mel e frutado reforçam o potencial do pólen para criar um produto distintivo e de alta qualidade, com perspectivas de sucesso, uma vez que a utilização de ingredientes locais e inovadores, como o pólen de abelha, pode também agregar valor à marca e criar uma identidade diferenciada no mercado de cervejas artesanais.

Palavras chaves: Abelha marmelada. Catarina sour. Escalonamento industrial. Pólen. Produção de cerveja.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Produção de cerveja.	14
FIGURA 2 - Esquema reacional de fermentação láctica.	16
FIGURA 3 - Molécula de Alfa-ácido.	20
FIGURA 4 - Tabela de cores de cerveja.	21
FIGURA 5 - Rótulo da cerveja “Turma da Colina”.	30
TABELA 1 - Análise econômica de acidificação.	29
TABELA 2 - Comparação aos parâmetros vitais do BJCP.	31

LISTA DE ABREVIATURAS

ABV-*alcohol by volume*- Álcool por volume
BJCP- *Beer Judge Certification Program*-Programa de Certificação de Juízes de Cerveja
BU- *Bitterness Units*- Unidades de Amargor
EBC-*European Brewing Convention*-Convenção de Cervejeiros da Europa
EP- Extrato Primitivo
FLAB- bactérias lácticas frutofílicas h-horas
IBU- *International Bitterness Units*-Unidades Internacionais de Amargor
L-Litros
LMC- Laboratório de Materiais e Combustíveis
MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
Min- Minutos
°P- Graus Plato
PIB- Produto Interno Bruto
RIN- Número de Integridade do RNA
RNA- ácido ribonucleico
SRM-*Standard Reference Method*-Métodos de referência padrão americano
UnB - Universidade de Brasília

GLOSSÁRIO

Açúcares fermentáveis: Carboidrato, açúcares menores no mosto que leveduras convertem em álcool e CO₂.

Alfa-amilase e Beta-amilase: Enzimas que quebram a molécula de amidos em açúcares fermentáveis.

Alfa-ácidos: Compostos do lúpulo que dão o amargor à cerveja.

Adjunto cervejeiro: Ingredientes não maltados que contribuem para quantidade de amido, como milho, arroz e centeio.

Brassagem: Processo que ocorre do início até a entrada da cerveja no fermentador

Carbonatação: Quantidade de CO₂ na cerveja, responsável pela efervescência.

Catharina Sour: Estilo brasileiro de cerveja ácida, geralmente com frutas, originário de Santa Catarina.

Clarificação: Processo o qual ocorre remoção de partículas para deixar a cerveja límpida.

Cerveja especial: Cervejas artesanais com ingredientes selecionados.

Cerveja premium: Cerveja de alta qualidade, em geral puro maltes, com ingredientes selecionados.

Curva de mosturação: Metodologia usada para ativação das enzimas no processo de formação do mosto utilizando variação de temperatura e tempo.

Drinkability: Qualidade de facilidade e prazer ao beber um líquido.

Descarbonatada: Cerveja com baixo ou nenhum gás carbônico.

Espectrofotometria: Estudo da interação da luz com partículas.

Extrato da cerveja: Refere-se à composição das substâncias dissolvidas, especialmente, dos açúcares no líquido, essas provenientes principalmente do malte de cevada.

Gravidade Aparente: Densidade da cerveja após a fermentação.

Maturação: Processo o qual a cerveja fica em repouso após a fermentação para estabilização.

Melanoidinas: São compostos químicos que são formados quando açúcares e aminoácidos se combinam a temperatura cerca de 100°C que dão origem à cor da cerveja.

Microbiota: Ecossistemas de bactérias presente em um ambiente.

Mosto: Líquido obtido durante o processo de produção de cerveja pela infusão de malte e adjuntos moídos em água aquecida.

Mosturação: Processo onde ocorre a mistura de malte e água quente para solubilizar e liberar açúcares, proteínas, outros compostos.

Off-flavors: Sabores indesejados.

Primer: Açúcar adicionado para carbonatação natural na garrafa.

Retrogosto: Sabor que permanece após beber.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 Definição de cerveja pela legislação brasileira	14
2.2 Produção de cerveja	14
2.3 Catarina Sour	16
2.4 Acidificação para preparação da Catarina Sour	16
3. PARTE EXPERIMENTAL	18
3.1 Produção da Catarina Sour	18
3.1.1 Etapa Laboratorial	18
3.1.2 Etapa Industrial	19
3.2 Análise microbiológica	20
3.3 Análise Extrato	20
3.4 Análise de ABV	21
3.5 Análise de IBU	21
3.6 Análise de Cor	22
3.7 Análise Sensorial	23
3.8 Análise de pH	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 Produção da Catarina Sour	24
4.2 Análise Microbiológica	25
4.3 Extrato de cerveja	26
4.4 ABV	26
4.5 IBU	27
4.6 Cor	28
4.7 Análise Sensorial	28
4.8 Análise do pH	29
4.9 Análise econômica	30
4.10 Produto Final	31
5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	32
6. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho se dedica à inovação tecnológica no campo da produção de cerveja, originada de pesquisas universitárias e direcionada ao mercado cervejeiro, analisando o resultado da transferência efetiva de tecnologia para a indústria, além de garantir sua viabilidade através do escalonamento industrial.

A inovação tem sido cada vez mais exigida no mercado, e não seria diferente no setor de bebidas, especialmente no segmento de cerveja, que é um setor da economia brasileira em ascensão, contribuindo com aproximadamente US\$35 bilhões por ano — o que equivale a 1,6% do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil — e gerando cerca de 2,7 milhões de empregos ao longo da cadeia produtiva (CervBrasil, 2016 e Brasil, 2022). Como o segmento está em crescimento, as cervejarias artesanais estão ganhando espaço e aumentando a produção de cervejas premium e cervejas especiais, o que acarreta cada vez mais em busca de novos sabores e inovações na indústria (CervBrasil, 2021 e Ghesti, 2023).

O setor cervejeiro está constantemente buscando inovações para criar novos sabores e atender às variadas demandas do mercado. A diversificação de estilos de cervejas e a adoção de tecnologias e processos inovadores têm sido estratégias comuns para alcançar esse objetivo (Machado, 2024); No entanto, o acesso a essas tecnologias muitas vezes é limitado e oneroso para cervejarias menores, que enfrentam dificuldades para competir com grandes fabricantes que priorizam linhas de produção de alta escala em detrimento da experimentação de novos sabores e abordagens. Essa disparidade no acesso e na aplicação de tecnologias inovadoras representa um desafio significativo para a indústria cervejeira, impedindo o pleno potencial de criatividade e diferenciação que poderia ser alcançado (Machado, 2024).

A inovação utilizada nesse trabalho é a utilização do pólen de abelha da espécie *Frieseomelitta varia*, uma abelha sem ferrão nativa do Cerrado Brasileiro, para conduzir o processo de acidificação láctica. Essa abordagem inovadora se baseia na presença de bactérias e leveduras encontradas no pólen de abelha, capazes de realizar a fermentação láctica. Este processo resulta na produção de um excesso de ácido láctico, o que, por sua vez, acidifica a cerveja (Ghesti, 2023). Vale ressaltar que esse método se assemelha ao processo convencional de acidificação láctica empregado no estilo cervejeiro Catarina Sour, o qual utiliza lactobacilos isolados comercialmente (Francesca, 2023). Porém, a utilização do pólen de abelha como fonte de microorganismos para a fermentação láctica representa uma abordagem inovadora e promissora, a qual foi desenvolvida anteriormente por nosso grupo de estudo em escala laboratorial (Ghesti, 2023).

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma análise abrangente da viabilidade técnica e econômica do uso do pólen de abelha para a acidificação do estilo de cerveja Catharina Sour em escala industrial. O propósito é validar a transferência de tecnologia desenvolvida na universidade para o setor produtivo, especificamente para a cervejaria Bracitorium, onde também foi criada uma proteção intelectual para a inovação.

Para alcançar este objetivo, foram delineados objetivos específicos: primeiramente, foi conduzida uma investigação dos aspectos técnicos associados à utilização do pólen de abelha no processo de acidificação da cerveja Catarina Sour, abrangendo análises físico-química como extrato, teor alcoólico, índice de amargor e pH, e a avaliação dos efeitos resultantes sobre o perfil sensorial da bebida. Além disso, foi realizado um estudo para avaliar o impacto econômico derivado da substituição dos métodos tradicionais de acidificação pelo uso do pólen de abelha na produção da cerveja Catarina Sour, levando em conta os custos relacionados à matéria-prima, mão de obra e equipamentos, bem como a percepção e aceitação dos consumidores. Esses objetivos específicos foram delineados para proporcionar uma compreensão tanto dos aspectos técnicos quanto econômicos envolvidos na implementação dessa inovação na indústria cervejeira.

A importância de comparar os resultados obtidos em ambiente laboratorial durante a pesquisa com aqueles alcançados na indústria é fundamental para aprimorar a transferência tecnológica e fomentar parcerias entre universidade e indústria; A partir desses resultados permite identificar possíveis lacunas entre pesquisas de bancada e processos industriais, facilitando ajustes necessários para garantir a eficácia e a aplicabilidade das inovações desenvolvidas. Ademais, ao evidenciar as diferenças entre os contextos de laboratório e de produção industrial, fortalece-se a colaboração entre os setores acadêmico e empresarial, promovendo uma abordagem mais integrada e eficiente no desenvolvimento e implementação de novas tecnologias (Machado, 2024).

A metodologia empregada neste estudo fundamentou-se nos procedimentos padrões adotados na fabricação industrial da cervejaria Satori, localizada em Guará, Distrito Federal. Para as análises laboratoriais, seguimos os parâmetros estabelecidos no artigo de Ghesti e colaboradores, realizando as análises no Laboratório de Bioprocessos cervejeiros e catálise aplicada a energias renováveis do Instituto de Química, seguindo as metodologias EBC (*European Brewing Convention* - Convenção de Cervejeiros da Europa), as quais são empregadas pois são amplamente reconhecidas como referência em análise de cerveja.

O presente trabalho visa comparar os resultados obtidos em ambiente laboratorial com aqueles obtidos na indústria, no contexto da adoção da tecnologia do uso do pólen de abelha como agente acidificante na fabricação de Catarina Sour.

Esta análise irá conter uma avaliação comparativa das características físico-químicas e sensoriais, visando identificar eventuais divergências e desafios no aspecto final do produto para garantir que a cerveja desenvolvida possua um potencial de mercado significativo e esteja alinhada com as demandas e expectativas dos consumidores atuais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Definição de cerveja pela legislação brasileira

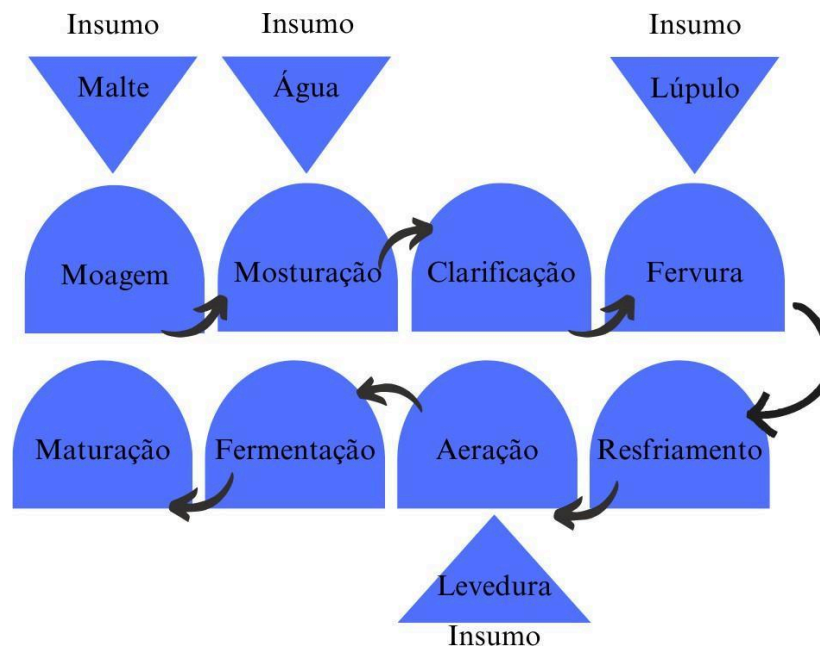
A legislação brasileira, por meio do decreto nº 9.902, de julho de 2019, no artigo 36, afirma que cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro (Brasil, 2019).

No decreto nº 9.902, no artigo 36 também dispõem dois parágrafos complementares incluindo uma novidade em relação ao decreto nº 6.871, de junho de 2009, que possibilita que a cerveja poderá ser adicionada de ingrediente de origem vegetal, de ingrediente de origem animal, de coadjuvante de tecnologia e de aditivo a serem regulamentados em atos específicos (Brasil, 2019), portanto, assim poderá ser utilizado o pólen mesmo sendo um ingrediente de origem animal.

2.2 Produção de cerveja

O processo de fabricação de cerveja pode ser resumido da seguinte forma: primeiro, o amido vindo de fonte como malte de cevada e outros adjuntos que são fonte de carboidratos, ricos em amido e açúcar, e de fontes diferentes de malte de cevada são quebrados pelas enzimas do malte para produzir o mosto fermentável. Em seguida, esse mosto é fervido com lúpulo, resfriado e fermentado com leveduras de cervejeira. Após a fermentação, a cerveja é fisicamente separada da levedura e é estabilizada biologicamente (Costa, 2023), conforme Figura 1.

Figura 1– Produção de cerveja



Fonte: Próprio autor.

A operação de moagem dentro do processo da produção de cerveja serve para disponibilizar o amido e as enzimas presentes do grão de malte de cevada numa solução aquosa — para aumentar a área de contato é necessário moer, porém, a granulometria tem que permitir que as cascas dos grão permaneçam praticamente inteiras e que o endosperma seja quebrado, pois auxilia na filtração do mosto para adsorver partículas maiores que causa turbidez, onde as cascas são importantes na fase de clarificação (Briggs, 2004).

A mosturação é o processo em que o amido e as enzimas estão disponíveis em uma solução que se chama de mosto; essa é a fase na qual as enzimas irão atuar na quebra, principalmente do amido, em açúcares menores e mais fáceis de fermentar, como dissacarídeos e monossacarídeos; nesse processo utiliza-se de rampas de temperatura específicas para que assim as enzimas, como alfa-amilase e beta-amilase, possam estar na faixa ideal para quebrar o amido (Palmer, 2006).

A clarificação é processo similar a uma filtração onde o mosto irá circular algumas vezes na camada de casca de malte que se formará; além de ser o estágio de adição de água para tornar o mosto diluído, esse processo é importante para que moléculas maiores fiquem adsorvidas nas camadas de casca, obtendo um líquido mais translúcido ao final da clarificação (SENAI, 2014).

A fervura é processo onde se eleva a temperatura para que substâncias voláteis e que podem causar off-flavors, ou seja, sabor ruim, possam evaporar; É também a etapa onde é adicionado o lúpulo, que vai trazer o sabor amargo, e em que ocorre a isomerização dos alfa-ácidos presentes no lúpulo em iso-alfa-ácidos para torná-los solúveis, os quais cumprem a função de conservação do mosto e nutrição, para que a levedura fermente (SENAI, 2014).

Após a fervura, é essencial que haja uma troca de calor brusca para que o mosto fervido possa ser resfriado rapidamente, alcançando assim a temperatura em que se poderá adicionar o fermento, levedura, e para minimizar os riscos de contaminação microbiológica (SENAI, 2014).

A fermentação é a fase em que ocorre a fermentação alcoólica, na qual os açúcares menores, chamados de açúcares fermentáveis, são transformados pelas leveduras em álcool — no caso da maioria das cervejas, são fermentadas com *saccharomyces cerevisiae* (Dysvik, 2020).

2.3 Catharina Sour

Catharina Sour é um estilo de cerveja que teve origem no Brasil em Santa Catarina é essencialmente uma cerveja de trigo inspirada em outro estilo leve de cerveja alemã, a cerveja do estilo *Berliner Weisse*. Uma cerveja refrescante, que possui um sabor vivo de frutas e uma acidez láctica suave. A graduação alcoólica baixa, o corpo leve, a carbonatação elevada e o amargor abaixo da percepção para que o sabor da fruta fresca seja o destaque. A fruta não precisa ser de carácter tropical, mas normalmente apresenta este perfil em várias receitas. As possibilidades de frutas para utilização em uma cerveja do tipo Catharina Sour são variadas e contribuem para a diversidade de sabores desta cerveja (Silva, 2022 e BJCP, 2021).

2.4 Acidificação para preparação da Catarina Sour

A acidificação é um processo essencial na produção de cervejas ácidas, como a Catharina Sour (Silva, 2022). Esse processo é baseado na diminuição do pH do mosto ou da

cerveja, o que pode ser realizado por meio de métodos químicos ou biológicos. O principal componente utilizado para essa redução do pH é o ácido lático (Dysvik, 2020).

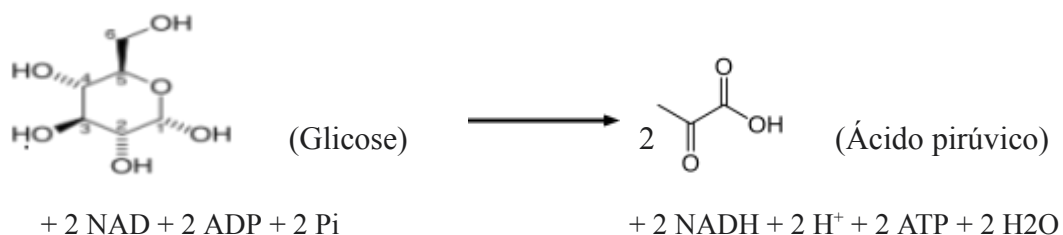
Na acidificação química, o método mais comum envolve a adição de ácido lático em solução após a fermentação durante o período de maturação. Nesse estágio, o ácido lático é incorporado à cerveja já finalizada, reduzindo seu pH e conferindo o caráter ácido desejado (Dysvik, 2019).

A acidificação biológica, por outro lado, pode ser realizada por dois métodos principais. O primeiro envolve a utilização de bactérias lácticas, como os lactobacilos, que são adicionadas ao mosto antes da fervura. Essas bactérias realizam a fermentação láctica, utilizando parte dos açúcares do mosto para produzir ácido lático, o que reduz o pH e confere à cerveja seu caráter ácido (Dysvik, 2019). O segundo método de acidificação biológica envolve a combinação de duas leveduras, sendo uma delas uma levedura não-*Saccharomyces*. Essas leveduras têm a capacidade de reduzir o pH por meio da fermentação láctica, durante a qual produzem ácido lático. Esse processo inicia a fermentação alcoólica, que é posteriormente conduzida pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* (Dysvik, 2020).

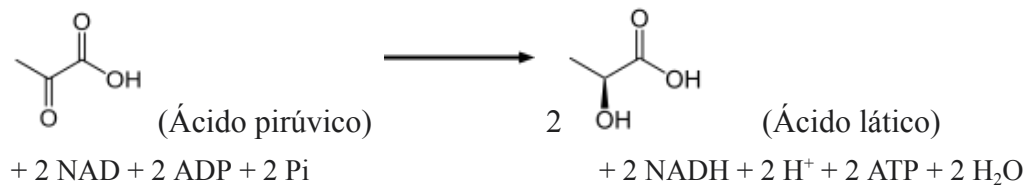
O ácido lático produzido por fermentação láctica ocorre através da ação de microrganismos presentes na acidificação biológica. Esses microrganismos utilizam a glicose para produzir energia e se reproduzir, porém, no mosto o ambiente é de baixa disponibilidade de oxigênio, portanto, durante as rotas metabólicas, ocorre a glicólise, processo no qual a glicose é convertida em piruvato por meio do NAD^+ (nicotinamida adenina dinucleotídeo); para gerar energia o piruvato em um ambiente anaeróbico é fermentado, resultando na produção de ácido lático (Figura 2). Esse ácido, por sua vez, acidifica o meio, contribuindo para o caráter distintivo da cerveja (Lehninger, 2002).

Figura 2- Esquema reacional da fermentação láctica.

Glicólise:



Fermentação láctica:



Fonte: adaptado de Lehninger 2002

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Produção da cerveja do tipo Catarina Sour

A produção da da cerveja do tipo Catarina Sour foi dividida em duas etapas, a etapa laboratorial e a etapa industrial. As produções utilizaram a mesma metodologia na adição do pólen, porém houve pequenas adaptações para ocorrer em nível industrial. As metodologias foram definidas a partir da etapa laboratorial, presentes no trabalho (Ghesti, 2023).

3.1.1 Etapa laboratorial.

As amostras laboratoriais da cerveja do tipo Catharina Sour foram produzidas utilizando uma base de 50% de malte do tipo Pilsen e 50% de malte de trigo. A curva de mosturação seguiu um processo escalonado para maximizar a eficiência enzimática e a extração de açúcares fermentáveis. A etapa de mosturação começou com um repouso de 10 minutos a 52 °C, uma temperatura que favorece a degradação das proteínas, melhorando a claridade e a estabilidade da cerveja. Em seguida, o mosto foi aquecido a 63 °C e mantido por 20 minutos, o que permitiu a conversão dos amidos em açúcares fermentáveis, principalmente maltose. Após isso, o mosto foi elevado a 71 °C por mais 20 minutos, fase que promove a produção de açúcares menos fermentáveis, contribuindo para o corpo da cerveja. Finalmente, um repouso de 10 minutos a 78 °C foi realizado para inativar as enzimas e preparar o mosto para a fervura. No processo, foram utilizados 21 litros de água para a mosturação e 14 litros de água para a lavagem dos grãos, garantindo a extração eficiente dos açúcares. O mosto resultante foi então fervido por 10 minutos para esterilização inicial e, em seguida, resfriado até 45 °C. Neste ponto, foi adicionado o pólen da abelha marmelada como agente acidificante biológico. O mosto foi mantido a 45 °C até que o pH alcançasse 3,5.

Após atingir o pH desejado, o mosto foi submetido a uma segunda fervura, desta vez por 70 minutos. Durante os últimos 30 minutos dessa fervura, foram adicionados 15 gramas de lúpulo Magnum. Depois o mosto foi então resfriado à temperatura ambiente e inoculado com a levedura *Ale Fermentis* US06, numa densidade de 1.500.000 células/mL °Plato. A fermentação foi realizada à temperatura ambiente. Quando a gravidade aparente atingiu 1,010, indicando que a maior parte dos açúcares fermentáveis havia sido consumida, foram adicionadas polpas de manga e maracujá. A fermentação durou por um total de 168 horas (7 dias), e o envase foi realizado em garrafa de vidro, com a adição de 5 mL de primer, que é uma solução com açúcares para reativar a levedura, por garrafa, o que permitiu a carbonatação natural durante a maturação. As garrafas foram então mantidas à temperatura ambiente por mais 168 horas para completar o processo de carbonatação e maturação (Ghesti, 2023).

3.1.2 Etapa Industrial.

As amostras industriais da cerveja do tipo Catharina Sour foram produzidas utilizando uma combinação de 56,2% de malte Pilsen e 43,8% de malte de trigo. A água utilizada foi corrigida com a adição de 25 g de CaSO₄ (sulfato de cálcio), 50 g de CaCl₂ (cloreto de cálcio) e 30 g de MgSO₄ (sulfato de magnésio) para ajustar a composição mineral. A curva de mosturação seguiu os seguintes passos para adaptar-se ao equipamento: repouso de 50 minutos a 63 °C, 20 minutos a 72 °C e 15 minutos a 78 °C. Foram utilizados 280 litros de água para a mosturação e 354 litros de água para a lavagem dos grãos. O mosto foi então fervido por 10 minutos, e então foi resfriado até 45 °C, momento em que foi adicionado o pólen da abelha marmelada como agente acidificante. O mosto foi mantido a 45 °C até que o pH atingisse 3,5, garantindo a acidez desejada. Após a acidificação, o mosto foi fervido novamente por 70 minutos, com a adição de 250 g de lúpulo Magnum nos últimos 60 minutos de fervura. Durante essa etapa, também foram adicionados 40 g de CaSO₄, 80 g de CaCl₂ e 50 g de MgSO₄ para corrigir os sais e ajustar o perfil da mostura. Ao final da fervura, o mosto foi resfriado até 30 °C e inoculado com a levedura *Ale Fermentis* US06, numa densidade de 1.709.000 células/mL °Plato. Além disso, foram adicionados 20 g de Clarex e 20 g de Clearmax como coagulantes, para auxiliar na clarificação do mosto. A fermentação ocorreu à temperatura ambiente fixando o fermentador a 30° C.

Quando a gravidade aparente atingiu 1,008, foi adicionado extrato de seriguela para contribuir com o perfil de sabor da cerveja. O mosto foi então resfriado a 1 °C por 14 dias, durante as quais a carbonatação e a maturação ocorreram sob uma pressão de 1,5 bar. Este processo resultou em uma cerveja do tipo Catharina Sour produzida em escala industrial.

3.2 Análise microbiológica.

A análise microbiológica foi realizada para compreender a composição de microorganismos do pólen da abelha marmelada, *Frieseomelitta varia* (Ghesti, 2023), onde foi reportado a microbiota do pólen de abelha composta por lactobacilos e leveduras capazes de acidificar. Primeiramente, o pólen foi dividido em três amostras para caracterização. A amostra (A) foi utilizada para extração de RNA (ácido ribonucleico) total, enquanto as amostras (B) e (C) foram usadas para a seleção de bactérias e leveduras, respectivamente, em meios de cultura específicos (Luria Bertani para bactérias e YPD [Yeast Peptone Dextrose] para leveduras). As amostras (B) e (C) foram incubadas por 16 horas a 30 °C e 200 rpm antes do processo de extração. A extração de RNA foi realizada com os reagentes TRIzol e RNeasy Plus Mini Kit. A quantificação do RNA total foi feita utilizando o método fluorimétrico QUBIT, que oferece maior precisão ao usar corantes específicos para RNA, DNA e proteínas. A análise da microbiota foi conduzida com o Bioanalyser Agilent 2100, que permitiu a comparação de similaridade do RNA com bancos de dados globais e a análise da integridade do RNA através de eletroforese capilar. A qualidade do RNA foi verificada pelo Número de Integridade do RNA (RIN).

3.3 Análise de Extrato

O extrato da cerveja pode ser entendido como extrato real, extrato aparente e extrato original ou primitivo. O extrato real corresponde à quantidade de sólidos que fazem parte da composição da cerveja, estando relacionado com o corpo da bebida, uma vez que indica a quantidade de açúcares, dextrinas e proteínas que permanecem na cerveja após a fermentação (SENAI, 2014). O extrato aparente refere-se ao valor do extrato considerando a presença de álcool, ou seja, após a fermentação; esse valor, todavia, não é considerado real devido à influência do álcool. Já o extrato original representa a quantidade de substâncias (extrato) presentes no mosto que deu origem à cerveja, sendo expresso em porcentagem (%) em peso (SENAI, 2014).

Os extratos foram medidos com PBA-B M-AntonPaar equipado com AlcoLyzerPlus Beer e detector de densidade DMA 5000 M (AntonPaar, Áustria).

3.4 Análise de ABV (álcool por volume)

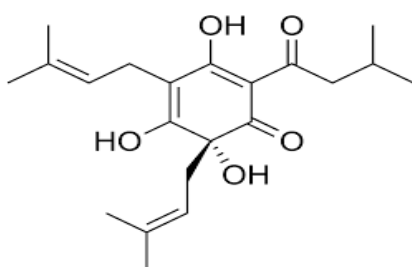
Durante o processo de fermentação da cerveja, as leveduras transformam os açúcares em álcool, conferindo à bebida seu teor alcoólico. Esse teor, conhecido como ABV (Alcohol by Volume) é um fator determinante na caracterização da cerveja. O ABV pode ser monitorado e previsto através da análise da densidade (gravidade) ao longo da fermentação, bem como pela análise do álcool final (Boulton, 2012).

No presente estudo, a análise do teor alcoólico final foi realizada com o PBA-B M-AntonPaar, equipado com AlcoLyzerPlus Beer, nas amostras industriais e na amostra laboratorial. Além disso, nas amostras industriais, foi feito o acompanhamento da densidade como parte das boas práticas de produção da fábrica.

3.5 Análise de IBU

O *Humulus lupulus*, ou lúpulo, é um insumo essencial na produção da cerveja, especialmente durante a fervura (Palmer, 2006). Além de conferir aroma e amargor, o lúpulo também desempenha um papel conservativo, graças à solubilização dos alfa-ácidos, que possuem propriedades antibacterianas (Guimarães, 2021). Embora existam outros compostos no lúpulo que podem contribuir para o amargor, os iso-alfa-ácidos (Figura 3) são os mais expressivos nesse aspecto (SENAI, 2014). Algumas variedades de lúpulo possuem índices elevados desses compostos. A proporção de alfa-ácidos solubilizados é medida pelo Índice de Amargor, conhecido como IBU (*International Bitterness Units*), ou Unidades Internacionais de Amargor, em português (SENAI 2014).

Figura 3- Molécula de Alfa-ácido.



Fonte: SENAI, 2014

A análise do IBU foi realizada pela metodologia EBC (*European Brewing Convention* – Convenção de Cervejeiros da Europa), que apresenta ter um padrão e certificação reconhecidos mundialmente, e a metodologia EBC 9.8 (EBC 2020), que utiliza-se da solubilidade dos alfa-ácidos presentes na cerveja em solvente orgânico, que é analisada por espectrofotometria no ultravioleta resultando na valor da absorbância com um fator o valor IBU.

As amostras foram submetidas a metodologia EBC 9.8, utilizando os mesmos equipamentos do laboratório LaBCCerVa, tendo o mesmo padrão de análise.

3.6 Análise de Cor

A coloração da cerveja é predominantemente originada do extrato de malte de cevada, cujos açúcares e proteínas resultam na coloração “amarelada” das cervejas claras. No entanto, a utilização de maltes especiais, que contêm melanoidinas, pode intensificar a cor, criando tons mais escuros que variam do dourado ao vermelho, marrom e, por fim, ao preto, conferindo o aspecto de uma cerveja escura (Cenci, 2022).

A cor da cerveja é medida em escalas que relacionam o tom a um valor numérico, sendo as mais utilizadas a SRM (*Standard Reference Method*-Métodos de referência padrão americano) e a EBC. No Brasil, a legislação adota a escala EBC como parâmetro para a classificação da cor da cerveja, distinguindo entre cervejas claras e escuras (Brasil, 2024). Cervejas claras apresentam valores inferiores a 20 EBC, enquanto as escuras possuem valores iguais ou superiores a 20 EBC, conforme Figura 4 (Brasil, 2009)

Figura 4 - Tabela de cores de Cerveja artesanal.

MACRO DIVISÃO	SRM	TONALIDADE	EBC	CLASSIF.**
Palha	2 - 3		3,94 - 5,91	Cerveja Clara até 20 EBC
Amarelo	3 - 4		5,91 - 7,88	
Ouro	4 - 5		7,88 - 9,85	
Âmbar	6 - 9		11,82 - 17,73	
Profundo âmbar / cobre luz	10 - 14		19,70 - 27,58	
Cobre	14 - 17		27,58 - 33,49	Cerveja Escura ≥ 20 EBC
Profundo cobre/castanho claro	17 - 18		33,49 - 35,46	
Castanho	19 - 22		37,43 - 43,34	
Castanho Escuro	22 - 30		43,34 - 59,10	
Castanho muito escuro	30 - 35		59,10 - 68,95	
Preto	35 +		68,95 - 78,80	
Preto opaco	40+		>78,80	

Fonte: Adaptado de BJCP Guideline 2008 **Classificação de acordo com a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994

Fonte: Revista Malagueta, 2018

A cor das amostras das cervejas industriais e laboratoriais foram analisadas de acordo com a metodologia específica da EBC para coloração, a EBC 9.6 (EBC 2020). Nessa metodologia, a amostra deve ser descarbonatada e diluída antes de ser analisada em um espectrofotômetro. A absorvância medida é então convertida no valor EBC de cor.

3.7 Análise Sensorial

A análise sensorial de cerveja é uma avaliação sistemática das características sensoriais da bebida, realizada por meio dos sentidos humanos, como visão, olfato e paladar. Esse tipo de análise é fundamental para determinar a qualidade, o perfil de sabor, o aroma, a aparência, a textura e outras propriedades que compõem a experiência de consumo da cerveja (Ghesti, 2018).

A análise sensorial foi realizada com foco nas características aromáticas, gustativas e visuais, essenciais para a avaliação da Catharina Sour. Os aromas foram avaliados com ênfase na intensidade e na qualidade dos aromas frutados, que são característicos desse estilo, sendo o aroma de frutas considerado um parâmetro crucial, sendo analisado quanto à sua autenticidade e equilíbrio (BJCP 2018). No paladar, foi dada especial atenção à acidez, uma característica marcante nas Catharina Sour, que foi avaliada em relação ao flavor láctico, resultante da fermentação láctica. Em relação aos aspectos visuais, a aparência da cerveja foi analisada considerando a cor, a clareza e a formação de espuma, com esses fatores sendo comparados aos padrões esperados para o estilo, garantindo que a cerveja mantivesse a identidade visual típica das cervejas do tipo Catharina Sour.

3.8 Análise do pH.

A acidez presente na cerveja do tipo Catharina Sour não é apenas um fator gustativo, mas também uma característica físico-química, com um pH final em torno de 3,5. Essa acidificação pode ser realizada de maneira química ou biológica, utilizando ácido láctico para reduzir o pH. As amostras industriais e laboratoriais foram submetidas à metodologia EBC 8.17 (EBC 2020) para medição do pH, utilizando um pHmetro para garantir a precisão dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram apresentados e discutidos os resultados da comparação entre a cerveja Catharina Sour produzida em escala laboratorial e a produzida em escala industrial. O objetivo foi verificar a consistência das características sensoriais e físico-químicas entre os dois ambientes de produção, avaliando a viabilidade da transferência de tecnologia. Além disso, foram analisadas as dificuldades enfrentadas durante o processo de industrialização, destacando os desafios para garantir a continuidade e o sucesso na produção em larga escala.

As produções foram conduzidas utilizando equipamentos distintos, porém, seguindo procedimentos de fabricação de cerveja semelhantes, adaptados às diferentes escalas de produção. O modelo laboratorial, desenvolvido previamente, já havia demonstrado resultados positivos, estabelecendo uma base sólida para a comparação. A expectativa era que a cerveja do tipo Catharina Sour, ao ser produzida em escala industrial, apresentasse características similares ao produto final obtido em laboratório, assegurando a consistência e a qualidade desejadas.

4.1 Produção da Catarina Sour

As produções das cervejas do tipo Catharina Sour seguiram padrões de fabricação de cerveja semelhantes, respeitando as limitações de cada equipamento, como fonte de aquecimento e manejo da brassagem, havendo pequena alteração na metodologia de mosturação. A etapa de acidificação foi padronizada em ambos os processos, permitindo uma avaliação comparativa da produção industrial utilizando o pólen como acidificante.

No processo laboratorial, após a primeira fervura e antes da adição do pólen, o pH da cerveja era de 5,9, com uma densidade de 1,030 (7,55 °P). Após 24 horas de atividade do pólen, o pH foi reduzido para 3,5. Após a etapa de fermentação alcoólica, a densidade final foi de 1,002 (0,51 °P) e o pH final foi de 3,4.

A produção industrial apresentou um comportamento similar. Após a primeira fervura, realizada após a mosturação e antes da adição dos microorganismos (pólen), o pH era de 5,4, com uma densidade de 1,032 (8,52 °P). Após 24 horas de atividade do pólen, o pH foi reduzido para 3,7, com um volume total de 497 litros. Após a fermentação alcoólica, a

densidade final foi de 1,008 (2,06 °P) e o pH final foi de 3,29. Na linha de produção da cervejaria que utiliza a metodologia com soluções de lactobacilos comerciais (Ghesti 2023), foi observada a redução do cheiro de fermentação láctica durante o processo de acidificação, em comparação com outras cervejas do tipo Catharina Sour; porém, o tempo de acidificação foi similar, tanto para o uso de pólen quanto uso de microrganismos comerciais, para atingir pH final próximo de 3,5.

4.2 Análise Microbiológica

O pólen de abelha é uma mistura complexa de pólen de plantas, néctar, secreções das abelhas e microrganismos. Sua composição nutricional inclui carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas, minerais, polifenóis e uma pequena proporção de outros componentes. Estudos anteriores demonstraram que o pólen de abelha possui propriedades antioxidantes, antibacterianas, anti-inflamatórias, anticarcinogênicas e antialérgicas (Li, 2018).

Com o uso do equipamento Bioanalyzer foi possível avaliar a quantidade e qualidade do RNA extraído. A qualidade do RNA é essencial para a etapa de sequenciamento. O parâmetro usado foi o RNA *Integrity Number* - RIN, pois somente amostras com alta qualidade e quantidade suficiente de RNA podem ser usadas no sequenciamento. A concentração de RNA obtida nas amostras avaliadas foi de 600 ng/μL para a amostra A (pólen), 420 ng/μL para a amostra (bactérias) B e 180 ng/μL para a amostra C (leveduras) (Ghesti, 2023). O valor de RIN foi calculado por um algoritmo que analisa os resultados obtidos e atribui uma pontuação às amostras, que varia de 1 a 10. Para amostras de procariotos e eucariotos, o valor de RIN igual ou superior a 7 é considerado ótimo, e as amostras são aprovadas para análise posterior. Das amostras analisadas, a amostra A (pólen) e a amostra B (bactérias) mostraram-se adequadas para análise com o valor de RIN acima de 7 (Ghesti, 2023). Além disso, análises preliminares do sequenciamento Sanger indicaram a presença de bactérias lácticas frutofílicas (FLAB), que são bactérias benéficas, como *Fructobacillus* e *Lactobacillus*, que têm a capacidade de acidificar o meio, um aspecto essencial para produção da Catharina sour e o que viabilizou a utilização do pólen como acidificante (Ghesti, 2023).

O pólen utilizado nas produções foi coletado de abelhas da mesma espécie. No entanto, é importante salientar que as abelhas coletam pólen e néctar de acordo com a disponibilidade de recursos botânicos em suas áreas de forrageamento, o que pode variar devido a fatores ambientais e sazonais (Selvaraju, 2019). Essas variações podem resultar em pequenas diferenças em lotes futuros. Ainda assim, o uso do pólen trouxe sabores frutados

adicionais em comparação à Catharina Sour produzida com lactobacillus comercial, o que pode ser um diferencial importante.

4.3 Extrato de cerveja

O extrato da cerveja, também conhecido como corpo, refere-se à composição das substâncias dissolvidas no líquido, provenientes principalmente do malte de cevada. O extrato é dividido em três categorias: o extrato primitivo, o extrato aparente e o extrato real. De acordo com a legislação, o Extrato Primitivo (EP) é a quantidade de substâncias dissolvidas no mosto que deu origem à cerveja (SENAI, 2014).

As duas amostras analisadas, a cerveja laboratorial e a industrial, apresentaram extratos primitivos semelhantes. A cerveja laboratorial obteve um extrato primitivo de 7,55 °P, enquanto a industrial registrou um valor ligeiramente superior, de 8,47 °P. Essa diferença pode ser atribuída às diferentes rampas de mosturação utilizadas, adaptadas para cada tipo de equipamento.

O extrato aparente, que é o extrato final da cerveja, sofre interferência do álcool presente no meio, o que faz com que o extrato real (ou verdadeiro) seja menor. Na análise do extrato aparente, a cerveja laboratorial apresentou um valor de 1,70% m/m, enquanto a cerveja industrial teve um valor de 1,54% m/m, indicando resultados finais próximos entre as duas.

O extrato real, que representa o extrato sem a interferência do álcool, é um indicador importante para avaliar o desempenho das leveduras durante a fermentação. A cerveja laboratorial apresentou um extrato real de 3,12% m/m, enquanto a cerveja industrial registrou um valor de 2,88% m/m.

Esses dados são fundamentais para calcular o grau de fermentação aparente, que é a relação entre o extrato atenuado durante a fermentação e o extrato aparente final. Esse índice revela o limite máximo de fermentação, após o qual restam apenas dextrinas (açúcares não fermentáveis)(SENAI 2014). A cerveja laboratorial apresentou um grau de fermentação aparente de 81,2%, enquanto a cerveja industrial alcançou 81,7%, mantendo perfis similares mesmo após o processo de acidificação.

4.4 ABV

O teor alcoólico por volume (ABV) é uma propriedade físico-química crucial na cerveja. Embora existam cervejas sem álcool, muitos cervejeiros acreditam que, sem essa

característica, a cerveja se tornaria um líquido sem vida, sem graça e sem alma . O etanol presente na cerveja precisa ser regulamentado conforme a legislação brasileira, que exige que a quantidade de álcool por volume seja claramente indicada no rótulo e durante a venda (Brasil, 2009). Além disso, é essencial verificar o ABV para garantir que a cerveja esteja em conformidade com o estilo proposto. Por exemplo, segundo o BJCP, a faixa de ABV para o estilo Catharina Sour é de 4,0% a 5,5%.

As cervejas produzidas com base nesse estilo apresentaram valores abaixo dessa faixa. A cerveja do tipo Catharina Sour produzida em escala laboratorial apresentou um ABV de 3,8%, enquanto a versão industrial registrou 3,6%. Embora esses valores estejam abaixo do esperado para o estilo, isso não desqualifica as cervejas, podendo inclusive contribuir para qualidades como a *drinkability*, qualidade essa que torna a cerveja “mais fácil de beber” (BJCP 2018 e Ghesti, 2018) . A suspeita da menor quantidade de álcool do que a proposta pode estar relacionada ao processo de fermentação láctica, que consumiu parte dos açúcares que, de outra forma, estariam disponíveis para a fermentação alcoólica.

4.5 IBU

As Unidades Internacionais de Amargor (IBU) são um parâmetro importante na cerveja, adquiridas principalmente durante a fervura e em técnicas de lupulagem na maturação, como o *dry hopping* (Guimarães, 2021) . Embora a legislação brasileira não exija a declaração dos IBUs no rótulo, ela requer que o lúpulo seja utilizado na produção devido às suas propriedades conservativas (Brasil, 2019). Apesar disso, muitos consumidores utilizam o IBU como um critério na escolha de cervejas, já que, quanto maior o número, mais intensa tende a ser a sensação de amargor na boca (Lima, 2017).

O BJCP também define faixas de IBU para cada estilo de cerveja. No caso da cerveja do tipo Catharina Sour, o índice de amargor sugerido varia entre 2 e 8 unidades, refletindo seu caráter menos amargo, uma vez que o objetivo deste estilo é ser refrescante e ácido (BJCP 2018).

As cervejas do tipo Catharina Sour analisadas apresentaram valores dentro dessa faixa. A versão laboratorial registrou 5 unidades de IBU, enquanto a versão industrial apresentou 3,5 unidades, ambos dentro do ideal para o estilo.

4.6 Cor

A cor da cerveja é uma propriedade essencial que contribui significativamente para sua identidade. Segundo a legislação brasileira em relação a cor da cerveja, o Artigo 65 estabelece que a cor da cerveja deve ser proveniente das substâncias corantes do malte de cevada (Brasil, 2009). Para corrigir ou intensificar essa cor, é permitido o uso de outros corantes naturais, conforme a legislação específica (Brasil, 2009). No caso de cervejas escuras, é permitido o uso de corante natural caramelo. Além disso, conforme o Artigo 66, a cerveja é classificada pela cor: cervejas claras apresentam uma cor correspondente a menos de vinte unidades EBC (European Brewery Convention), enquanto as cervejas escuras têm cor correspondente a vinte ou mais unidades EBC (Brasil, 2009).

Escalas de cores como EBC e SRM classificam a cerveja em uma ampla gama de tons, desde palha, amarelo, ouro, âmbar, cobre, castanho, marrom, até o preto, o que também diversifica os sabores. O BJCP, por sua vez, indica uma faixa de cor para diferentes estilos de cerveja. No caso da Catharina Sour, espera-se um tom mais claro, quase palha. Como o BJCP é americano, sua referência está em SRM, e a faixa recomendada para a Catharina Sour é de 2 a 6 SRM, o que, convertido para EBC, varia de 4 a 12 EBC.

As amostras analisadas no laboratório atingiram 7 EBC, enquanto as amostras industriais registraram 5 EBC. Um dos fatores que dificultaram essa análise foi o fato de a cerveja não estar filtrada, o que resultou em uma apresentação turva. Para garantir a precisão na medição da cor, foram utilizados filtros de micropore e analisado o espectro da cor no espectrofotômetro.

4.7 Análise Sensorial

O perfil sensorial é uma análise essencial, tanto para prever melhorias nos processos quanto para garantir que o produto final seja bem aceito pelo público, além de permitir a identificação de sabores únicos que possam surgir. O BJCP orienta que o sabor da Catharina Sour deve apresentar uma fruta fresca dominante com intensidade média a alta, acompanhada por uma acidez láctica limpa de intensidade baixa a média-alta, de maneira complementar, mas notável (BJCP, 2018). A fruta deve ter um caráter fresco, sem parecer cozida, semelhante a geleia ou sabor artificial. O malte geralmente está ausente; Se presente, deve ter um caráter sutil de cereais ou pão, sem competir com a fruta ou a acidez. O amargor do lúpulo deve ser imperceptível, com um final seco e limpo, além de um retrogosto ácido e frutado.

Não deve haver sabores de lúpulo, notas acéticas, diacetil, ou sabores não-Saccharomyces oriundos de Brettanomyces. Especiarias, ervas e vegetais são opcionais e devem complementar o caráter da fruta (BJCP 2018)

Ao analisar as amostras sensorialmente, a versão laboratorial apresentou aroma de frutas doces, cítricas, ácido valérico e frutas verdes. O sabor mostrou um equilíbrio entre cítrico e frutado, com um aspecto visual que revelou turbidez e uma cor mais pálida, conforme esperado (Ghesti 2023).

A amostra industrial apresentou um perfil sensorial semelhante, com aroma de frutas doces, cítricas, ácido valérico e um aroma intenso de frutas amarelas, devido ao extrato utilizado. No paladar, destaca-se o sabor de frutas amarelas e cítricas, com uma leve secura e um toque sutil de mel no final, resultando em uma composição equilibrada e refrescante. O aspecto visual também apresentou turbidez e uma cor amarela pálida.

Embora o *off-flavor* de ácido valérico estivesse presente em ambas as amostras, ele se mostrou reduzido em comparação com estilos produzidos com lactobacilos comerciais, o que contribuiu para realçar as características frutadas da cerveja.

A cerveja industrial teve grande aceitação entre o público leigo, destacando-se como um sucesso de vendas, com boa *drinkability* e refrescância. Isso demonstra que o uso dessa nova tecnologia, juntamente com a incorporação de aspectos locais, como a fruta seriguela, que é típica do cerrado, pode adicionar particularidades significativas à cerveja. A preparação de cervejas com o terroir da região e o uso de pólen de abelha podem conferir características únicas, influenciadas por uma variedade de fatores, incluindo origens botânicas, espécies de abelhas e origens geográficas (Li, 2018).

4.8 Análise do pH

O pH é uma propriedade crucial para as cervejas do tipo Catharina Sours, já que esse estilo exige um perfil ácido. O pH tende a diminuir com a fermentação láctica, mas também é reduzido durante a fermentação alcoólica (Silvia, 2022). A cerveja, por natureza, é uma bebida com pH ácido. Embora o BJCP não exija uma faixa específica de pH, estudos indicam que a Catharina Sour geralmente se enquadra em uma faixa de pH entre 3 e 3,5.

Nas análises realizadas com pHmetro calibrado, a cerveja do tipo Catharina Sour produzida em escala laboratorial apresentou um pH final de 3,4, enquanto a versão industrial registrou um pH de 3,3. Esses resultados indicam que a acidificação ocorreu corretamente, e

a fermentação contribuiu para o caráter ácido da cerveja, resultando em um leve sabor láctico, porém equilibrado com notas frutadas.

4.9 Análise econômica.

A análise econômica de uma tecnologia é fundamental para avaliar sua viabilidade e sustentabilidade a longo prazo. Análise permite a otimização de recursos, ajudando a evitar desperdícios financeiros e direcionando investimentos para soluções mais promissoras. Assim, a análise econômica é crucial para embasar decisões estratégicas e garantir que a tecnologia escolhida seja financeiramente viável e competitiva.

As tecnologias de acidificação avaliadas incluíram o uso de *Lactobacillus* comercial, adicionado antes da fervura, o pólen de abelha, também inserido antes da fervura, e a combinação de cepas de leveduras, uma acidificante e outra alcoólica. Essas tecnologias, usualmente aplicadas na cervejaria, serviram como base para a análise econômica realizada.

A tecnologia de acidificação com *Lactobacillus* comercial utilizou 5 litros de *Lactobacillus buchneri* (Levteck), com um custo aproximado de R\$ 330,00. No caso do pólen de abelha, que seguiu a mesma metodologia, estimou-se o uso de 200g de pólen desidratado de abelhas sem ferrão, adquiridos de produtores locais, com um custo de R\$ 158,00. Por fim, a combinação de cepas envolveu a utilização de 500g da cepa *Philly Sour* (Lallemand), com um custo de R\$ 868,00. Todas as tecnologias foram programadas para o maquinário da fábrica de 500 litros (Bracitorium 2024 e Casa das Colmeias 2024).

Tabela 1- Análise econômica de acidificação.

Lactobacilos comerciais	<i>Lactobacillus buchneri</i> (Levteck)	R\$ 330,00
Pólen de abelha	pólen desidratado de abelhas sem ferrão	R\$ 158,00
Combinação de cepas	<i>Philly Sour</i> (lallemand)	R\$ 868,00

Fonte: Próprio Autor.

A partir da tabela apresentada, observa-se que o custo do pólen foi significativamente menor em comparação ao *Lactobacillus* comercial, oferecendo uma alternativa economicamente mais viável para a substituição. No entanto, ao analisar a combinação de cepas, a comparação direta não é possível devido às metodologias distintas envolvidas. Entretanto, é possível deduzir que, ao comparar as leveduras, a Fermentis WB-06 (Fermentis), utilizada no caso do pólen de abelha, apresenta um custo de R\$ 583,00, sendo R\$ 310,00 mais barata que a cepa *Philly Sour*, o que também contribuiria para uma redução nos custos de produção.

4.10 Produto final

Após a produção industrial, foi confirmada com sucesso a transferência de tecnologia além da parte burocrática (Machado 2024), o que resultou no desenvolvimento de um produto inovador no mercado cervejeiro: a Catharina Sour de Seriguela. Esse novo rótulo foi apelidado de "Turma da Colina", uma homenagem à ala residencial da Universidade de Brasília e a um grupo de professores, cujas contribuições são simbolicamente representadas no nome. Além disso, o design do rótulo foi cuidadosamente pensado para incluir referências às abelhas e ao pólen, elementos fundamentais no processo de criação desse novo produto, destacando a importância da biodiversidade no desenvolvimento da cerveja. Esses aspectos estão ilustrados na figura 5, que reforça o conceito do produto e sua conexão com a natureza e a ciência envolvida na sua produção.

Figura 5- Rótulo turma da Colina.



Fonte: Cervejaria Bracitorium

Por parte da Cervejaria Bracitorium, a Catharina Sour "Turma da Colina" alcançou uma recepção extremamente positiva, destacando-se tanto no cenário gastronômico quanto no campo da inovação. Sua qualidade e originalidade chamaram a atenção da mídia, resultando em reportagens e menções em diversos veículos de notícias, que reforçaram o impacto da bebida no mercado. Até o momento, foram produzidos quatro lotes, todos com padrões de qualidade muito semelhantes, o que garantiu a consistência do produto e contribuiu para seu sucesso contínuo. Devido à excelente aceitação por parte dos consumidores e ao bom desempenho em vendas, a "Turma da Colina" foi incorporada à linha de produção regular da cervejaria.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A produção das cervejas do tipo Catharina Sour, tanto em escala laboratorial quanto industrial, apresentou resultados semelhantes, apesar das variações nos procedimentos e equipamentos utilizados. A utilização do pólen de abelha como agente acidificante demonstrou ser eficaz em ambos os contextos, evidenciando a viabilidade e o sucesso da transferência de tecnologia para a produção em larga escala. Esse sucesso não só reforça a potencialidade do pólen de abelha na indústria cervejeira, mas também valida a ciência como uma ferramenta inovadora e relevante no desenvolvimento de novos produtos.

Novas análises e testes precisam ser feitos com relação a validade, estabilidade de prateleira e pasteurização se a empresa buscar a comercialização em garrafas e latas para outros estados e países.

Embora tenham sido identificados alguns desafios, como a dificuldade de obtenção do pólen de abelha como matéria-prima e o tempo prolongado necessário para a acidificação (superior a 24 horas), esses fatores não impediram a realização de uma produção industrial bem-sucedida. O pólen de abelha pode representar um diferencial significativo para cervejarias menores que buscam inovar com sabores exclusivos, incorporar características locais e oferecer opções sazonais para diversificar suas cartas de cerveja.

Adicionalmente, a redução da sensação de ácido valérico na cerveja do tipo Catharina Sour acidificada com pólen de abelha contribuiu para um perfil sensorial mais equilibrado e atraente. A adição de notas frutadas e de mel enriqueceu o sabor da cerveja, evidenciando o potencial do pólen em criar um produto distintivo e de alta qualidade. Assim, a utilização do pólen de abelha pode ser um diferencial promissor, abrindo novas possibilidades para o mercado de cervejas e potencialmente conduzindo ao sucesso tanto em pequenas quanto em grandes cervejarias.

Tabela 2- Comparação aos parâmetros vitais do BJCP.

Análise	Sour Laboratorial	Sour Industrial	Sour BJCP
Extrato Primitivo(OG)	1030	1034	1039 – 1048
ABV (v/v%)	3,8%	3,6%	4,0% – 5,5%
IBU	5	3,5	2 – 8
Cor (SRM)	3,6	2,6	2 – 6

Fonte: Próprio autor e BJCP 2021.

A análise da Tabela 2 mostra que os parâmetros das cervejas produzidas estão próximos dos padrões estabelecidos pelo BJCP, exceto pelos valores de extrato e, conseqüentemente, do ABV, já que este é diretamente influenciado pelo extrato e pela fermentação. Embora esses valores tenham sido inferiores, isso não deve ser considerado um fator desclassificatório do estilo, especialmente se levarmos em conta os aspectos gerais e sensoriais, que têm maior relevância. Esses ajustes poderão ser feitos em futuras receitas, garantindo uma maior adequação aos parâmetros técnicos sem comprometer a qualidade final da cerveja.

Outro ponto relevante observado foi a possibilidade do uso do pólen de abelha para agregar valor à marca e fortalecer o posicionamento no mercado. Ao incorporar ingredientes locais e inovadores, as cervejarias podem não apenas oferecer um produto único, mas também contar uma história diferenciada, atraindo consumidores interessados em experiências autênticas e sustentáveis. Esse aspecto pode ser especialmente valioso em um mercado cada vez mais competitivo, onde a identidade e a proposta de valor de uma marca são fatores cruciais para seu sucesso.

6. REFERÊNCIAS

- Beer Judge Certification Program - BJCP. (2021). Beer style guide. Retrieved from <https://www.bjcp.org/bjcp-style-guidelines/>» <https://www.bjcp.org/> Acesso 15 de julho 2024
- Boulton, C. (2012). 125th Anniversary Review: Advances in analytical methodology in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(3), 255–263. <https://doi.org/10.1002/jib.47>
- Brasil, Lei nº 6871, de 4 de junho de 2009. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm#anexo
- Brasil, Lei nº 9.902, de 8 de julho de 2019. Altera o Anexo ao Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2019, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9902.htm. Acesso em: 5 de maio 2024.
- Brasil; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário da Cerveja 2021, MAPA. Brasília, 2022.
- Brasil, *Anexo_Instrucao_Normativa_140_2024_3Edicao*. (n.d.). pg 504
- Briggs, D et al, *Brewing Science and Practice*. Boca Raton: CRC Press, 2004.881p.
- Cenci, I. de O., Costa, S. A. da, Amabile, R., & Ghesti, G. F. (2022). Characterization, qualification and comparison of irrigated Barleys cultivated in the Cerrado for brewing malt production: Part 2. *Journal of Agricultural Sciences Research (2764-0973)*, 2(17), 2–15. <https://doi.org/10.22533/at.ed.9732172210122>
- Casa das Colmeias, 2024. Disponível em: <https://www.colmeias.com.br/produto/polen-de-abelhas-sem-ferrao-sambura/>> Acesso julho 2024.
- CERVBRASIL, Anuário 2016. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuario/> . Acesso em: 20 abril 2024 .
- CERVBRASIL, Anuário 2021. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuario/> . Acesso em: 22 abril 2024
- Costa, S. A., Evaristo, R. B. W., Silva, M. L., & Ghesti, G. F. Prospecção tecnológica e científica de bioprocessos de conversão do bagaço de malte com ênfase em compostagem e biodigestão. *Revista Virtual da Química* In press 2023..

Dysvik, A., Liland, K. H., Myhrer, K. S., Westereng, B., Rukke, E.-O., de Rouck, G., & Wicklund, T. (2019). Pre-fermentation with lactic acid bacteria in sour beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, 125(3), 342–356. <https://doi.org/10.1002/jib.569>

Dysvik, A., la Rosa, S. L., de Rouck, G., Rukke, E.-O., Westereng, B., & Wicklund, T. (2020). Microbial Dynamics in Traditional and Modern Sour Beer Production. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(14). <https://doi.org/10.1128/AEM.00566-20>

EBC –EUROPEAN BREWERY CONVENTION. Analytica. 4° ed, Zurich: Brauerei, 2020, 281p.

Francesca, N., Pirrone, A., Gugino, I., Prestianni, R., Naselli, V., Settanni, L., Todaro, A., Guzzon, R., Maggio, A., Porrello, A., Bruno, M., Farina, V., Passafiume, R., Alfonzo, A., Moschetti, G., & Gaglio, R. (2023). A novel microbiological approach to impact the aromatic composition of sour loquat beer. *Food Bioscience*, 55, 103011.

Ghesti, G.; Barros, C.; Muller, C.; Parachin, N.; Pinheiro, L. Análise Sensorial Para Cervejas. Ebook. 2018. 135 p.

Ghesti, G., Carvalho, I., Carmo, T., & Suarez, P. A. Z. (2023). A newer source of microorganism to produce Catharina Sour beers. *Food Science and Technology (Brazil)*, 43. <https://doi.org/10.1590/fst.102022>

Guimarães, B. P., Evaristo, R. B. W., & Ghesti, G. F. (2021). Prospecção Tecnológica do Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) e suas Aplicações com Ênfase no Mercado Cervejeiro Brasileiro. *Cadernos de Prospecção*, 14(3), 858. <https://doi.org/10.9771/cp.v14i2.33059>

Lehninger, AL. Princípios de bioquímica. São Paulo: Sarvier, 2002. 3ª ed. p. 409-420.

Li, Q.-Q., Wang, K., Marcucci, M. C., Sawaya, A. C. H. F., Hu, L., Xue, X.-F., Wu, L.-M., & Hu, F.-L. (2018). Nutrient-rich bee pollen: A treasure trove of active natural metabolites. *Journal of Functional Foods*, 49, 472–484. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.09.008>

Lima, L. A., Fernandes, T. L., Tenório, L. X. da S., Silva, M. L. da, Evaristo, R. B. W., Ghesti, G. F., & Martin, A. R. (2017). SINOPSE DO CENÁRIO CERVEJEIRO: O ADVENTO DA PRODUÇÃO E O MERCADO NA REGIÃO CENTRO OESTE. *Cadernos de Prospecção*, 10(4), 650. <https://doi.org/10.9771/cp.v10i4.23041>

Machado, T. M., Santiago, A., Santana, J. A. M. de, Cruz, T. C. da S., & Ghesti, G. F. (2024). A transferência de tecnologia envolvendo segredo industrial na indústria cervejeira: estudo de caso. *Peer Review*, 6(8), 342–359. <https://doi.org/10.53660/prw-2109-3907>

Palmer, J. How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Beer Right the First

Time. Boulder: Brewers Publications, 2006. 347p.

Revista Malagueta, tabela de cores de cerveja artesanal, 2018, Disponível em:
<https://revistamalagueta.com.br/2018/10/31/tabela-de-cores-da-cerveja-artesanal/>

Selvaraju, K., Vikram, P., Soon, J. M., Krishnan, K. T., & Mohammed, A. (2019). Melissopalynological, physicochemical and antioxidant properties of honey from West Coast of Malaysia. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2508–2521.
<https://doi.org/10.1007/s13197-019-03728-3>

SENAI. Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro. Tecnologia cervejeira/ SENAI, Agraria, Centro de Tecnologia SENAI alimentos e bebidas- Rio de Janeiro : [s.n], 2014

Silva, C. H. G. da, Oliveira, L. L. de, Westphal, T. T., Rocha, A. F., Iglíkovski, S. M., & Ceola, D. (2022). Caracterização da cerveja Catharina Sour produzida com insumos catarinenses / Characterization of Catharina Sour beer brewed with raw materials from Santa Catarina state. *Brazilian Journal of Development*, 8(5), 38180–38198.
<https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-359>

Simões, Livia e Lacerda, Vinicius; Cervejas Ácidas, E. de, & Fernando Cunha Peixoto Dra Karen Signori Pereira, O. (n.d.). *Niterói* 2/2017