



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS - DEALI
LABORATÓRIO DE BIOLOGIA CELULAR E MOLECULAR - LBCM**

RICARDO HENRIQUE SOUZA PANZERA

**DIFERENTES REGIMES DE MOSTURAÇÃO PARA POTENCIAL PRODUÇÃO DE
CERVEJA SEM ÁLCOOL OU DE BAIXO TEOR ALCOÓLICO**

Ouro Preto, MG
2025

RICARDO HENRIQUE SOUZA PANZERA

**DIFERENTES REGIMES DE MOSTURAÇÃO PARA POTENCIAL PRODUÇÃO DE
CERVEJA SEM ÁLCOOL OU DE BAIXO TEOR ALCOÓLICO**

Trabalho de conclusão de curso do curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Ouro Preto, fornecido pelo DEALI (Departamento de Alimentos), como parte das exigências para a obtenção do título de Cientista e Tecnólogo(a) de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Aureliano Claret da Cunha.

Coorientador: Ms. Paulo Henrique Nolasco.

Ouro Preto, MG
2025



FOLHA DE APROVAÇÃO

Ricardo Henrique Souza Panzera

Diferentes regimes de mosturação para potencial produção de cerveja sem álcool ou de baixo teor alcoólico

Monografia apresentada ao Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Aprovada em 03 de novembro de 2025

Membros da banca

Prof. Dr. Aureliano Claret da Cunha - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

MSc. Paulo Henrique Nolasco - Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Dr. Gustavo Henrique Bianco de Souza (Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Dr. Maurício Henriques Louzada Silva (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - Campus Rio Pomba)

Aureliano Claret da Cunha, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Aureliano Claret da Cunha, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/03/2026, às 16:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1080195** e o código CRC **241A1CD2**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) pelo ensino público e gratuito.

Ao LBCM, Professor Aureliano e toda equipe pela oportunidade e apoio do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Núcleo de Estudos em Agroecologia (NEA) da UFOP pela oportunidade de participar de diversos projetos de extensão, em especial Mauricio e Nicolas.

Aos amigos de Ouro Preto e do Curso de Ciências e Tecnologia de alimentos, em especial Angelina, Fábio Rocha Vianna , Felipe , Marlon e Paulo Nolasco.

Ao restaurante Parrila K e Komb Espeteria, André, Bruna e toda equipe, pela oportunidade de estágio e trabalho.

À Ouro Preto e Ouropretanos, cidade que me acolheu e me permitiu viver experiências que me engradeceram como ser humano e profissional.

Aos meus pais , família Souza e família Panzera pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos que precisei.

Ao meu irmão, Leonardo Panzera pelo exemplo de pessoa e profissional.

À minha amada esposa e companheira Leticia Resende, pelo amor e apoio de sempre.

Ao meu saudoso avô e grande cidadão centenário de Congonhas, Sandoval Souza Pinto, pelos conselhos e prosas que deixarão saudades eternas em nossos corações.

Ao meu Tio Renato giuseppe panzera, saudades eternas.

Por fim, agradeço a Deus, sem a fé não teria superado os desafios para chegar até aqui.

RESUMO

Ao longo da história, a produção e a indústria cervejeira passaram por mudanças significativas, buscando atender a um público cada vez mais amplo, com diferentes preferências em termos de estilo e variedade. Nesse contexto, as cervejas com teor alcoólico reduzido ou desalcooolizadas surgem como alternativas para consumidores que desejam a bebida sem os efeitos negativos advindos da ingestão de álcool. A indústria demonstra interesse por métodos e tecnologias que possibilitem a produção de cerveja sem álcool ou com baixo teor alcoólico, buscando garantir uma boa experiência sensorial aos consumidores, de forma que seja viável, reduzindo custos e aprimorando técnicas. Entre os métodos para a redução do teor alcoólico da cerveja, destaca-se a realização da etapa de mosturação utilizando intervalos de temperaturas ideais para determinadas atividades enzimáticas, os quais se mostram eficazes para produzir um extrato primitivo com menor concentração de açúcares fermentescíveis, influenciando diretamente o teor alcoólico do produto final. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo investigar quatro regimes distintos, submetidos a diferentes faixas de temperaturas entre 50 e 77 °C ao longo de determinado tempo durante o processo de mosturação. Os dados coletados e analisados estatisticamente (*ANOVA one-way e teste de Tukey*) demonstraram a possível influência da temperatura na atividade enzimática nos diferentes regimes avaliados. Observou-se que os regimes submetidos a intervalos de temperatura com alta atividade da α -amilase e baixa atividade ou inatividade da β -amilase apresentaram indícios da formação de um extrato primitivo adequado para a produção de cerveja sem álcool ou com baixo teor alcoólico. Isso se deve à provável baixa concentração de açúcares fermentescíveis ou à maior concentração de açúcares não fermentescíveis no mosto, durante e ao final do processo.

Palavras-chave: Atividade Enzimática; Mosturação; Sólidos Solúveis; Indústria Cervejeira; Cerveja sem Álcool; Baixo Teor Alcoólico.

ABSTRACT

Throughout history, beer production and the brewing industry have undergone significant changes in order to cater to an increasingly diverse consumer base with varying preferences in style and variety. In this context, beers with reduced alcohol content or alcohol-free alternatives have emerged to meet the demands of consumers who wish to enjoy the beverage without the negative effects associated with alcohol consumption. The industry has shown interest in methods and technologies that enable the production of non-alcoholic or low-alcohol beer, aiming to provide a satisfactory sensory experience for consumers while ensuring feasibility, cost reduction, and technical refinement. Among the methods used to lower the alcohol content in beer, one approach involves conducting the mashing stage within specific temperature ranges ideal for certain enzymatic activities. This has proven effective in producing a wort with a lower concentration of fermentable sugars, which directly influences the final product's alcohol content. Accordingly, the present study aimed to investigate four distinct regimes subjected to different temperature ranges between 50 and 77 °C over a set duration during the mashing process. The data collected and statistically analyzed (one-way ANOVA and Tukey test) demonstrated the potential influence of temperature on enzymatic activity across the evaluated regimes. It was observed that the regimes subjected to temperature ranges favoring high α -amylase activity and low or inactive β -amylase activity showed signs of producing a wort suitable for the production of non-alcoholic or low-alcohol beer, likely due to a higher concentration of non-fermentable sugars in the wort during and at the end of the process.

Keywords: Enzymatic Activity; Mashing; Soluble Solids; Beer Industry; Non-Alcoholic Beer; Low Alcohol Content.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Fluxograma etapas produção da cerveja 14
- Figura 2. Regime 1 (62–72 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 4,5 ± 0,05 °B; P2 = 5,7 ± 0,1 °B; P3 = 8,3 ± 0,1 °B; P4 = 9,2 ± 0,1 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* a 0,05% de significância ($\alpha = 0,05$). 29
- Figura 3. Regime 2 (77 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 4,6 ± 0,02 °B; P2 = 7,8 ± 0,2 °B; P3 = 8,7 ± 0,2 °B; P4 = 9,7 ± 0,1 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* significância ($\alpha = 0,05$). 30
- Figura 4. Regime 3 (50→77 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 3,7 ± 0,3 °B; P2 = 4,4 ± 0,0 °B; P3 = 8,6 ± 0,0 °B; P4 = 9,3 ± 0,1 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* significância ($\alpha = 0,05$). 31
- Figura 5. Regime (50 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 2,3 ± 0,2 °B; P2 = 3,8 ± 0,25 °B; P3 = 4,4 ± 0,2 °B; P4 = 5,0 ± 0,05 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* significância ($\alpha = 0,05$). 31
- Figura 6. Representação resultados concentração sólidos solúveis, sendo; Regime 1: 4,5 ± 0,5; Regime 2: 4,6 ± 0,2 °B; Regime 3: 3,7 ± 0,3 °B; Regime 4: 2,3 ± 0,2 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* à 0,05% de significância. 32
- Figura 7. Representação resultados concentração sólidos solúveis, sendo: Regime 1: 5,7 ± 0,1; Regime 2:; Regime 3: 4,4 ± 0 °B; Regime 4: 3,8 ± 0,25 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* à 0,05% de significância 33
- Figura 8. Representação resultados concentração sólidos solúveis-Regime 1: 8,3 ± 0,1 °B; Regime 2: 8,7 ± 0,2 °B; Regime 3: 8,6 ± 0 °B ; Regime 4: 4,4 ± 0,2 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* à 0,05% de significância 34
- Figura 9. Representação resultados concentração sólidos solúveis-Regime 1: 8,3 ± 0,1 °B; Regime 2: 8,7 ± 0,2 °B; Regime 3: 8,6 ± 0 °B ; Regime 4: 4,4 ± 0,2 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* à 0,05% de significância 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Síntese com os principais parâmetros do malte utilizado	25
Tabela 2.. Parâmetros dos Regimes de Mosturação	27
Tabela 3. Perfil térmico de P1, P2, P3 e P4 em relação ao regime.....	28
Tabela 4. Regime 1 (62–72 °C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).....	29
Tabela 5. Regime 2 (77°C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).....	30
Tabela 6. Regime 2 (50 - 77°C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).....	31
Tabela 7. Regime 2 (50 °C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).....	32
Tabela 8. Ponto de coleta 1 (P1): comparação entre regimes.	32
Tabela 9. Ponto de coleta 2 (P2): comparação entre regimes.	33
Tabela 10. Ponto de coleta 3 (P3): comparação entre regimes.	34
Tabela 11. Ponto de coleta 4 (P4): comparação entre regimes.	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFOP: Universidade Federal de Ouro Preto;

DEALI: Departamento de Alimentos;

LBCM: Laboratório de Biologia Celular e Molecular;

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária;

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia;

EBC: European Brewery Convention;

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;

°P: Graus Plato;

°B: Graus Brix;

EBC: European Brewery Convention;

CLAE: Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (High Performance Liquid Chromatography);

ANOVA: Analysis of Variance (Análise de Variância);

v/v: Volume por Volume (proporção volumétrica).

SUMÁRIO

1 REFERENCIAL TEÓRICO	9
1.1 Histórico da Produção de Cerveja	9
1.2 Histórico e Mercado da Cerveja sem Álcool e de Baixo Teor Alcoólico	10
1.3 Ingredientes Cervejeiros	11
1.4 Produção da Cerveja	13
1.4.1 Malteação	14
1.4.2 Moagem	14
1.4.3 Mosturação	15
1.4.3.1 Enzimas no Processo de Mosturação	15
1.4.4 Filtração do Mosto	16
1.4.5 Fervura e Adição do Lúpulo	16
1.4.6 <i>Whirlpool</i>	17
1.4.7 Resfriamento do Mosto	17
1.4.8 Fermentação	17
1.4.9 Maturação, Carbonatação e Envase	18
1.5 Produção da Cerveja sem Álcool e de Baixo Teor Alcoólico	19
1.5.1 Métodos Físicos	20
1.5.2 Métodos Biológicos e Bioquímicos	21
1.6 Legislação Referente à Produção de Cerveja no Brasil	22
2 OBJETIVOS	24
2.1 Objetivo Geral	24
2.2 Objetivos Específicos	24
3 METODOLOGIA	24
3.1 Malte de cevada	24
3.2 Moagem do Malte	25
3.3 Mosturação	26
3.3.1 Definição dos Parâmetros dos Regimes de Mosturação	26
3.3.2 Monitoramento e Coleta dos Dados	27
3.3.3 Análise Estatística dos Dados Coletados	28
4 RESULTADOS	29
4.1 Teor dos Sólidos Solúveis Avaliados Intrarregimes	29
4.2 Teor dos Sólidos Solúveis Avaliados Intrerregimes	32
5 DISCUSSÃO	36
6 CONCLUSÃO	39
6.1 Perspectivas	40
REFERÊNCIAS	41

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Histórico da Produção de Cerveja

A cerveja é uma das bebidas mais populares no mundo, tendo seu desenvolvimento e consumo registrados ao longo da história, em antigas civilizações, em vários países e culturas diferentes. Na Mesopotâmia, por volta de 6.000 a.C., têm-se os primeiros registros de sua produção, que, segundo as evidências disponíveis, ocorreu acidentalmente, quando membros dessa antiga civilização notaram que cereais que haviam fermentado davam origem a uma bebida de sabor e aroma bem peculiares (Silva *et al.*, 2016). Essas descobertas se deram por meio da observação de pinturas rupestres que possuíam símbolos associados à produção e existência da cerveja nessa época. Outras pesquisas arqueológicas reforçaram tais evidências, como a descoberta de resíduos de cevada em antigos vasos encontrados em ruínas de cidades pertencentes ao território mesopotâmico (Morado, 2011).

Registros de civilizações posteriores remontam ao Egito, e mais adiante ao Império Romano, onde a produção da cerveja era considerada uma tarefa doméstica, delegada às mulheres. Após o colapso do Império Romano e o início da Idade Média, houve avanços significativos nos conhecimentos relacionados à agricultura e também à produção de cerveja, sendo os mosteiros os principais locais onde tais práticas eram desenvolvidas (Flanders, 2019).

Outros avanços significativos na história da produção da cerveja ocorreram no ano de 1516, na Alemanha, quando o duque Guilherme IV promulgou a “Lei da Pureza Alemã” (*Reinheitsgebot*), estabelecendo os padrões de produção da cerveja da época, que deveria conter como ingredientes apenas malte de cevada, lúpulo e água, sendo a levedura incluída posteriormente, após sua descoberta (Silva *et al.*, 2016).

No Brasil, a introdução da cerveja perpassa pela era colonial, onde há registros de tentativas de estabelecimento da produção da bebida pelos holandeses, entre os anos de 1634 e 1650. Porém, com o fracasso da colonização holandesa, a cerveja ganhou espaço mais adiante com a introdução das primeiras técnicas de produção pelos portugueses, sendo posteriormente influenciadas e aperfeiçoadas após a imigração alemã no Brasil, ainda no século XIX (Camargo, 2008).

Neste sentido, o século XX no Brasil marca um período de grande desenvolvimento na indústria cervejeira, devido à modernização dos processos produtivos e à popularização do consumo de cerveja; observa-se o crescimento relevante das primeiras marcas, como a Brahma (Gonçalves, 2015). Esse período

também impôs grandes desafios à indústria cervejeira, como a ocorrência de instabilidades políticas e econômicas, alterações na legislação vigente e a criação de órgãos reguladores. Tais fatores exigiram dos produtores constantes inovações e adaptações, exigindo, por parte dos produtores, inovações e adaptações para acompanhar o mercado (Silva, 2010).

Segundo Marques (2018), hoje o Brasil ocupa um lugar significativo no *ranking* de consumidores e produtores mundiais, com uma indústria que constantemente busca inovação e aperfeiçoamento, refletindo um mercado e público cada vez mais exigentes. Para Santos (2018) e Costa (2020), fatores culturais e comportamentais relacionados ao consumo de cerveja no país justificam a grande diversidade e disponibilidade de marcas e estilos de cerveja em seu mercado atual.

Quanto aos obstáculos enfrentados por este setor, destacam-se a alta carga tributária, e a alta concorrência que influenciam diretamente na lucratividade e nos preços finais do produto (Oliveira, 2019). Dessa forma, a indústria tem buscado diversificar sua produção, assim como adotar estratégias mais abrangentes de marketing e canais de distribuição, visando alcançar um público mais amplo (Marques, 2021).

1.2 Histórico e Mercado da Cerveja sem Álcool e de Baixo Teor Alcoólico

Algumas evidências encontradas no Egito sugerem que as primeiras produções de cerveja sem álcool datam de aproximadamente 2.000 a.C. Encontradas em templos, elas indicam que, durante rituais de oferendas aos deuses, o álcool presente na cerveja acabava se evaporando devido a alguma forma de aquecimento. O produto formado, considerado sagrado, era posteriormente comercializado e consumido (Silva, 2010).

Além do sabor e da busca por um alimento nutritivo, o consumo da cerveja teve, ao longo de sua história, como um dos principais atrativos, o efeito psicoativo do álcool. No entanto, a partir do início do século XX, mudanças na percepção dos consumidores, bem como leis que proibiram o consumo de álcool – como durante o período da Lei Seca nos Estados Unidos da América – foram determinantes para a inserção no mercado da cerveja com álcool reduzido ou desalcoholizada. Tal produto passou a conquistar adeptos, sobretudo pela possibilidade de proporcionar experiências sensoriais similares às da cerveja tradicional (Bamforth, 2006).

Eventos históricos ocorridos na primeira metade do século XX, como as

grandes guerras mundiais, impactaram significativamente a disponibilidade de recursos e de matéria-prima necessária para a produção da cerveja. Com o intuito de se adaptar ao mercado e à demanda pela bebida, a solução encontrada à época foi produzir cervejas menos concentradas, e consecutivamente com o teor alcoólico reduzido (Briggs *et al.*, 2004).

No Brasil, a cerveja sem álcool ou com baixo teor alcoólico passou a ser visada pela indústria para produção e distribuição no mercado a partir da década de 1990, quando foi lançada a primeira marca com baixo teor alcoólico, chamada *Kronenbier*, seguida em 2006 pela produção da primeira cerveja sem álcool oferecida pela Ambev, chamada *Liber* (Silva, 2010). Segundo Costa (2015), esses primeiros lançamentos não agradaram muito aos consumidores devido a características sensoriais pouco atrativas, como o excesso de doçura, o amargor desequilibrado, entre outros aspectos.

Entre 2010 e 2014, algumas análises, no mercado brasileiro, demonstram que o consumo de cervejas sem álcool e de baixo teor alcoólico cresceu 5%, contra 3% do consumo das cervejas alcoólicas tradicionais (Salles, 2015). Fatores sociais, bem como novas pesquisas voltadas para a saúde, que relacionam o consumo de álcool como fator de risco para doenças, novas legislações de restrição ao consumo, especialmente quanto à tolerância zero na condução de veículos sob efeito do álcool, e aspectos positivos, como a descoberta de benefícios nutricionais – inclusive para atletas e praticantes de atividades físicas em geral – reforçam a constante evolução e a procura crescente pela cerveja sem álcool ou com baixo teor alcoólico no mercado mundial (Gaetano *et al.*, 2016).

1.3 Ingredientes Cervejeiros

A composição da cerveja envolve uma combinação equilibrada de ingredientes, cuja seleção influencia diretamente não apenas os parâmetros físico-químicos da bebida, mas também sua estabilidade, perfil sensorial e identidade. Dentre esses ingredientes, destacam-se a água, o malte, o lúpulo e as leveduras, considerados a base tradicional da fabricação cervejeira (Neto *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a água é o ingrediente presente em maior quantidade na cerveja, sendo de grande importância para a qualidade e identidade do produto final. Fatores como a presença de sais minerais e suas respectivas concentrações na água utilizada são essenciais para a eficiência das etapas de produção, bem como para

nos aspectos sensoriais do produto final. Alguns exemplos são os íons de cálcio e magnésio, que influenciam no metabolismo das leveduras, na estabilização e clarificação da cerveja. Já a presença de íons cloretos, oriundos do tratamento da água, pode acarretar a formação de clorofenol, prejudicando o sabor e a qualidade da cerveja, sendo indispensável sua eliminação (Neto *et al.*, 2020).

Por sua vez, o malte é originado do processo de malteação dos grãos de cevada (*Hordeum vulgare*), etapa na qual ocorre a germinação controlada seguida da secagem, resultando na formação de compostos essenciais para a fabricação da bebida. Durante esse processo, desenvolvem-se enzimas importantes, como as amilases (α -amilase e β -amilase), que catalisam a conversão dos carboidratos complexos (como o amido) em açúcares mais simples e fermentescíveis. Além das amilases, são produzidas proteases, que degradam proteínas em peptídeos e aminoácidos, contribuindo para a formação do perfil de sabor e estabilidade da espuma.

O malte também contém lipídios, vitaminas do complexo B, minerais e outros compostos bioativos que influenciam a composição nutricional e sensorial da cerveja (Almeida, 2020; Faber *et al.*, 2019). Ainda segundo Faber *et al.* (2019), existem vários tipos de malte, como pilsen, *pale ale*, caramelo, chocolate e defumado, os quais influenciam diretamente na identidade da cerveja, afetando sua coloração, sabor, corpo e aroma.

Outro componente na composição da cerveja é o lúpulo, planta cultivada em regiões de clima temperado, rica em polifenóis, α -ácidos e β -ácidos, componentes que conferem à cerveja características sensoriais amplamente reconhecidas pelos consumidores e produtores, sendo também importante para a formação da espuma (Neto *et al.*, 2020). Pertencente à família Cannabaceae, o lúpulo (*Humulus lupulus*) é utilizado na cerveja a partir das flores das fêmeas, sendo seus primeiros registros de uso na produção cervejeira datados de 822 d.C., em monastérios do continente europeu (Faber *et al.*, 2019).

Complementando essa composição, as leveduras são amplamente utilizadas em processos biotecnológicos nas indústrias de alimentos e bebidas, sendo responsáveis pela fermentação, como na panificação e na produção de cervejas. São classificadas como microrganismos unicelulares pertencentes ao reino *Fungi*. Na fermentação da cerveja, utilizam-se principalmente a espécie *Saccharomyces cerevisiae* (Carvalho *et al.*, 2006).

Com base nisso, é possível diferenciar os principais tipos de cerveja quanto ao processo fermentativo. As cervejas do tipo ale são produzidas, com leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, por fermentação de alta (ou de superfície), com leveduras que atuam entre 15 e 24 °C. Geralmente apresentam coloração intensa, sabor mais complexo e teor alcoólico entre 4 e 8%. Dentro dessa categoria, destacam-se estilos como *Porter e Stout*, conhecidos por seus aromas tostados e corpo elevado. Por outro lado, as cervejas do tipo *lager* são obtidas por fermentação de baixa (ou profunda), com leveduras que atuam em temperaturas mais baixas, entre 7 e 13 °C. São, em geral, mais leves, de sabor suave e teor alcoólico entre 4 e 5%. Os estilos *Pilsen, Munique e Bock* são exemplos típicos das *lagers*, amplamente consumidos devido à sua refrescância e equilíbrio sensorial (Araújo, 2016).

Por fim, cabe destacar a utilização dos chamados adjuntos cervejeiros, que são ingredientes adicionados à cerveja além da água, malte, lúpulo e levedura, e cuja adição é regulamentada pela legislação brasileira vigente – a qual determina que a substituição do malte não deve ultrapassar 45% em relação ao extrato primitivo (Brasil, 2019). Esses ingredientes cumprem diversas funções tecnológicas, como o ajuste do perfil sensorial, a modificação da densidade do mosto, o aumento da estabilidade da espuma, a melhoria da filtrabilidade e a alteração do teor alcoólico. Entre os adjuntos mais utilizados destacam-se a aveia, o trigo, o arroz e o milho, além de alternativas não convencionais como o mel e xaropes, que também podem conferir aromas e sabores diferenciados à bebida (D'Avila *et al.*, 2012).

1.4 Produção da Cerveja

Para a produção da cerveja são necessárias as seguintes etapas: malteação, moagem, mosturação, filtração, fervura, *whirlpool*, resfriamento, inoculação da levedura, fermentação, maturação, filtração final, carbonatação, estabilização e envase (Linko *et al.*, 1998). Compreender essas etapas é de suma importância para a obtenção de um produto com qualidade e segurança para o consumidor, tanto para cervejeiros profissionais envolvidos na grande indústria quanto para amadores em suas produções caseiras, além de outros profissionais e entusiastas envolvidos em produções artesanais (Silva, 2018).

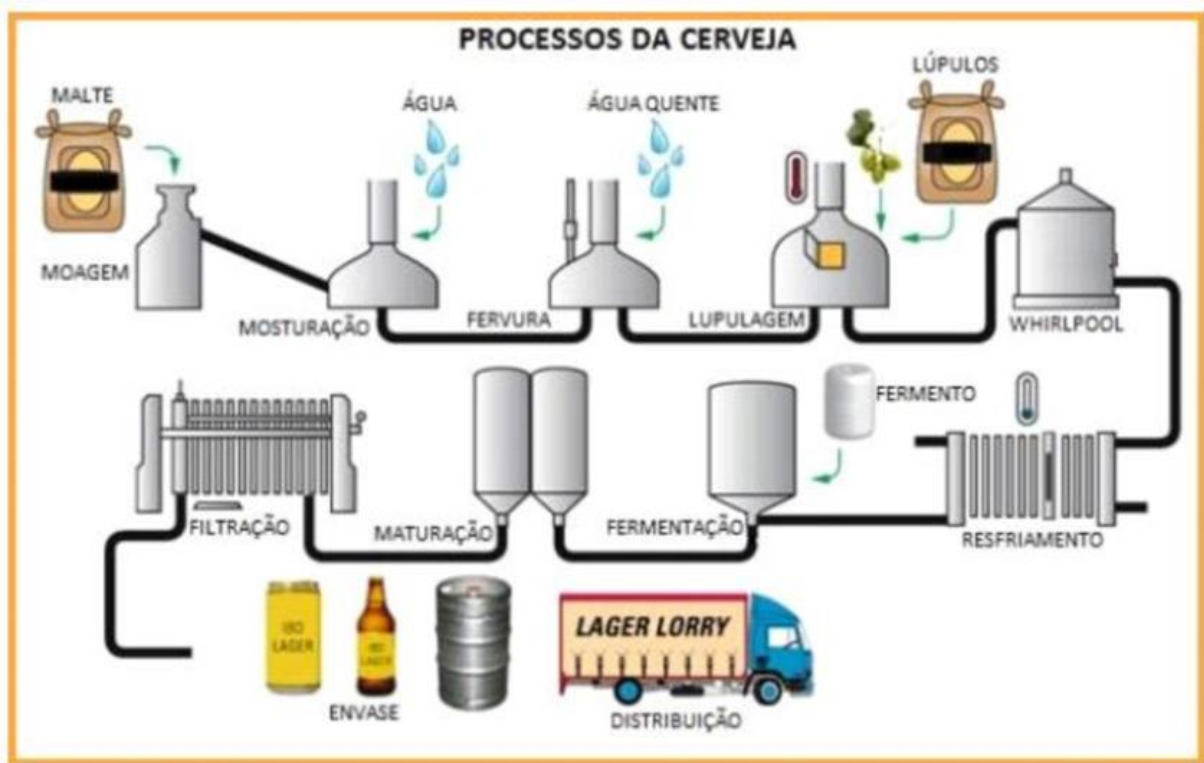


Figura 1. Fluxograma etapas produção da cerveja

Fonte: Nascimento e Lopes (2018)

1.4.1 Malteação

A malteação é a primeira etapa para garantir a produção adequada da cerveja. O objetivo desse processo é obter o grão da cevada em condições de ser utilizado nas etapas posteriores do processo cervejeiro, como, por exemplo, a mosturação (Briggs *et al*, 2004). Para atingir esse objetivo, a cevada passa por três fases importantes que definem a malteação: a maceração, a germinação controlada e, por fim, a secagem (Kunze, 2004). Esses processos ocasionam, principalmente, a ativação dos sistemas enzimáticos presentes no interior do grão, sendo estes cruciais para a formação do extrato cervejeiro durante a posterior etapa de mosturação e para a composição do mosto contendo açúcares fermentescíveis, proteínas, entre outros compostos solúveis (Boulton; Quain, 2001).

1.4.2 Moagem

A moagem tem como principal objetivo quebrar os grãos de malte para expor o endosperma, onde se encontram os compostos amiláceos e proteicos que serão convertidos em açúcares fermentescíveis e aminoácidos. Trata-se de uma operação mecânica que visa obter uma granulometria ideal para maximizar a eficiência enzimática na mosturação, ao mesmo tempo em que preserva as cascas dos grãos (Azevedo; De Souza, 2021).

A moagem do malte é geralmente realizada em moinhos de rolos, que podem

conter dois, quatro ou seis cilindros ajustáveis. Esses rolos são regulados para exercerem pressão sobre os grãos, possibilitando a ruptura da casca e a fragmentação do endosperma. A precisão nesse ajuste é fundamental, uma vez que uma moagem excessivamente fina pode obstruir os sistemas de filtração e dificultar a clarificação do mosto, enquanto uma moagem muito grossa compromete a conversão de amido em açúcares, reduzindo o rendimento da brassagem (Azevedo; De Souza, 2021).

1.4.3 Mosturação

Após a etapa de moagem, ocorre a mosturação, cujo principal objetivo é a ativação enzimática e, conseqüentemente, a formação do extrato cervejeiro. Conforme citado, inicialmente, o malte é submetido à moagem e, em seguida, à infusão em água, sendo aquecido em faixas específicas de temperatura que otimizam diferentes ações enzimáticas. Essas enzimas promovem a liberação de açúcares fermentescíveis, fundamentais para o metabolismo das leveduras ao longo da fermentação alcoólica, bem como de açúcares não fermentescíveis e outros compostos solúveis que contribuem para o corpo e demais características sensoriais da cerveja (Costa, 2015).

1.4.3.1 Enzimas no Processo de Mosturação

As enzimas são proteínas essenciais que atuam como catalisadoras em diversas reações químicas, sendo indispensáveis à manutenção da vida. Sua descoberta teve início com os estudos de Louis Pasteur sobre fermentação, por volta de 1850, ao investigar a atuação das leveduras na conversão de açúcares em álcool. Posteriormente, Eduard Buchner demonstrou que esse processo ocorria devido a substâncias presentes no interior das células das leveduras, e foi Frederick W. Kühne quem as denominou de enzimas (Lehninger *et al.*, 2006).

No contexto da produção cervejeira, essas moléculas desempenham um papel central, especialmente durante o processo de mosturação, em que a ação catalítica de enzimas específicas, como as amilolíticas, promove a hidrólise dos componentes do amido (amilose e amilopectina) convertendo-os em açúcares fermentescíveis. Paralelamente, enzimas proteolíticas atuam na degradação de proteínas e oligopéptidos, contribuindo para a formação do perfil sensorial e da estabilidade da cerveja (Hornink, 2022).

Em relação às enzimas com ação amilolítica, Silva (2018) destacou a α -amilase

e β -amilase, cujas atividades são determinantes na degradação dos polissacarídeos presentes no amido. Essas enzimas são responsáveis por grande parte da disponibilidade de açúcares fermentescíveis no extrato cervejeiro, sendo a maltose o principal dissacarídeo formado, juntamente com quantidades menores de glicose e outros oligossacarídeos. Além dos açúcares fermentescíveis, também são geradas dextrinas, que não são metabolizadas pelas leveduras, mas contribuem para características sensoriais importantes da cerveja, como corpo e dulçor.

Outras enzimas presentes no mosto também exercem funções relevantes durante a mosturação. As fitases, promovem a desfosforilação do fitato, liberando fosfatos inorgânicos que contribuem para a acidificação do mosto. As feruloil esterases, ao hidrolisarem ésteres carboxílicos, produzem ácido ferúlico, que será convertido, durante a fermentação, em 4-vinil-guaiacol – substância responsável por conferir aroma de cravo em determinados estilos de cerveja. Além disso, as amido fosforilases, limite-dextrinase e α -glicosidases também desempenham papéis relevantes na etapa de mosturação e na formação do extrato cervejeiro (Hornink, 2022).

1.4.4 Filtração do Mosto

O extrato obtido ao final do processo de mosturação, pode conter até 65% de sólidos totais. Dessa forma, há a presença de resíduos indesejáveis que constituem o chamado bagaço de malte, o qual necessita passar por um processo de filtragem (Junior; Vieira; Ferreira, 2009).

Durante o processo de filtração, ocorre também a lavagem do bagaço, sendo utilizada água aquecida – denominada água secundária, o que permite uma maior extração de açúcares. É necessário que essa água esteja na faixa de temperatura entre 76 e 78 °C, exigindo atenção no controle desses parâmetros, a fim de evitar a extração de taninos, os quais afetam significativamente a qualidade sensorial da cerveja, promovendo uma adstringência indesejada (Silva *et al.*, 2016).

1.4.5 Fervura e Adição do Lúpulo

A etapa de fervura é realizada em equipamentos denominados tinas de fervura, nos quais o mosto é aquecido com o objetivo de promover a desnaturação das enzimas, resultando em sua desativação, além de possibilitar a esterilização do mosto. Nesse processo, ocorre também a adição do lúpulo, que pode variar em tipos

e ser inserido de formas combinadas, conforme o estilo de cerveja que se pretende produzir. O aquecimento permite a conversão dos ácidos presentes no lúpulo em iso- α -ácidos, reação essencial que confere à cerveja características sensoriais como amargor. Ademais, o lúpulo apresenta propriedades antimicrobianas relevantes, contribuindo para a conservação do produto final (Venturini Filho, 2016; Oliveira, 2019). Por fim, durante a fervura, ocorre a formação de um agregado de componentes resultantes do processamento, denominado *trub*, constituído por micropartículas de proteínas e outros resíduos como tanínicos (Palmer, 2006).

1.4.6 *Whirlpool*

A etapa de *whirlpool* visa à decantação do *trub*, nos quais o mosto é submetido a um movimento circular. Esse mecanismo baseia-se na utilização da força centrípeta para direcionar as partículas sólidas maiores ao centro do tanque, permitindo que estas se sedimentem no fundo. Para otimizar a eficiência do processo, é realizado um breve período de repouso, favorecendo a decantação de partículas mais densas (Hornink, 2022).

1.4.7 Resfriamento do Mosto

Após a etapa de *whirlpool*, é necessário que o mosto seja resfriado antes de ser transferido para os tanques de fermentação. Esse resfriamento é realizado por meio de diferentes equipamentos e métodos, como trocadores de calor de placas, chillers de imersão, entre outros. A depender do tipo de cerveja a ser produzida, existem faixas ideais de temperatura que devem ser alcançadas antes do início da fermentação. No caso das cervejas do tipo *lager*, no geral a temperatura ideal situa-se entre 7 e 15 °C, enquanto para as do tipo *ale*, varia entre 18 °C e 22 °C (Venturini Filho, 2016).

1.4.8 Fermentação

De acordo com Venturini Filho (2016) e Marques (2020), a fermentação é o processo no qual as leveduras convertem os açúcares fermentescíveis em dióxido de carbono e álcool etílico. Algumas condições iniciais são necessárias antes da adição do fermento, como a oxigenação do mosto, o que promove, de forma controlada, a produção de esteróis e ácidos carboxílicos insaturados, favorecendo o crescimento das leveduras. Também é essencial o posterior fechamento do tanque para criar

condições anaeróbicas adequadas ao processo fermentativo.

A duração da fermentação varia conforme alguns fatores importantes, como o tipo de cepa de levedura utilizada. As *lagers*, por exemplo, requerem um período de fermentação primária de 2 a 3 semanas, enquanto as *ales* necessitam de 3 a 7 dias. Após esse período, o mosto pode ser submetido a uma fermentação secundária, com o objetivo de melhorar a clarificação e suavizar o sabor da cerveja, prolongando o processo por mais alguns dias (Palmer, 2006).

Outras condições influenciam diretamente na eficiência e duração da fermentação, como o pH e a concentração de açúcares fermentescíveis no mosto, o que evidencia a importância do controle rigoroso e da definição precisa de parâmetros nas etapas anteriores, como a mosturação e o tratamento do mosto (Santos, 2018).

Segundo Palmer (2006), a concentração ideal de açúcares presentes no mosto, expressa em graus Plato ($^{\circ}\text{P}$), dependerá do estilo de cerveja a ser produzido. Por exemplo, a cerveja tipo pilsen apresenta concentrações entre 11 e 12 $^{\circ}\text{P}$; *pale ale*, entre 12 e 14 $^{\circ}\text{P}$; e estilos mais encorpados e amargos, como a bock, entre 16 e 18 $^{\circ}\text{P}$. Essas concentrações também refletem diretamente no teor alcoólico final da bebida. Cervejarias tradicionais, por exemplo, utilizam mostos com concentrações entre 11 e 12 $^{\circ}\text{P}$ para produzir cervejas com teor alcoólico entre 3 e 5% (m/v) de etanol (Venturini Filho, 2016).

A ação metabólica das leveduras, além da produção de dióxido de carbono e etanol, resulta em subprodutos (ésteres, álcoois superiores, aldeídos, ácidos orgânicos, compostos sulfurosos, diacetil e fenóis) que influenciam diretamente nas características sensoriais da cerveja, como aroma e sabor. A concentração final desses compostos dependerá do controle dos parâmetros aos quais o processo fermentativo foi submetido, como a temperatura, o tempo e a concentração do inóculo (Venturini Filho, 2016).

Durante o processo fermentativo, são necessários métodos que indiquem a sua finalização. Uma das formas de controle mais utilizadas é a quantificação do consumo de açúcares ao longo dos dias. Para esse fim, empregam-se equipamentos como densímetros, já que ocorrem mudanças na densidade do mosto em decorrência da ação metabólica das leveduras e da consequente liberação de álcool etílico nesta etapa da produção da cerveja (Hornink, 2022).

1.4.9 Maturação, Carbonatação e Envase

A maturação é a etapa posterior à fermentação, durante a qual a cerveja permanece em repouso por um período que varia conforme o estilo planejado. Segundo Silva (2020), essa fase é de grande importância para o desenvolvimento dos aromas da cerveja, além de promover uma suavização dos sabores, resultando em um produto mais equilibrado.

Após a maturação, a bebida geralmente contém partículas em suspensão, como proteínas, células de levedura, substâncias insolúveis e outros compostos indesejáveis. Para a remoção desses elementos, realiza-se o processo de clarificação, que pode ocorrer por técnicas como centrifugação, sedimentação por gravidade ou outros métodos físicos (Venturini, 2016). Em alguns estilos, aplica-se ainda a filtração, com o objetivo de conferir maior limpidez à bebida, embora tal procedimento não seja obrigatório em todos os casos (Hornink, 2022).

Concluída a clarificação, passa-se à carbonatação, etapa responsável pela incorporação do gás carbônico que confere efervescência à cerveja. Essa pode ocorrer de forma natural, por meio do *priming*, que consiste na adição de uma quantidade precisa de açúcares fermentescíveis antes do envase, permitindo que as leveduras residuais produzam CO₂ durante um segundo período de fermentação. Alternativamente, pode-se realizar a carbonatação forçada, com a injeção direta de dióxido de carbono em tanques pressurizados contendo a cerveja já pronta (Palmer, 2006).

Por fim, a cerveja é envasada em garrafas, latas ou barris e, posteriormente, pasteurizada para eliminar microrganismos indesejáveis que possam comprometer sua estabilidade e segurança, estendendo o tempo de prateleira. No Brasil, a cerveja não pasteurizada é denominada *chopp* (Brasil, 2019). Conforme ressaltado por Costa (2015), a escolha adequada da embalagem e o processo de envase são fundamentais para preservar a qualidade e o frescor da cerveja até o momento do consumo.

1.5 Produção da Cerveja sem Álcool e de Baixo Teor Alcoólico

A cerveja sem álcool ou de baixo teor alcoólico passa, em sua maioria, pelas mesmas etapas da produção da cerveja convencional, utilizando os mesmos ingredientes. No entanto, são aplicados processos específicos de desalcoolização ou de redução do teor alcoólico, que requerem alterações nas condições de etapas como a mosturação, a fermentação e a pós-fermentação. Tais modificações visam eliminar ou reduzir a presença do álcool na bebida, de acordo com as características do

produto final que se deseja obter (Silva *et al.*, 2016; Costa, 2015).

Diversas são as técnicas utilizadas para a produção de cervejas com baixo ou nenhum teor alcoólico. Entretanto, a indústria cervejeira tem buscado, por meio da otimização desses métodos, reduzir os custos e garantir características sensoriais semelhantes às da cerveja convencional (Francesco *et al.*, 2014). Atualmente, os métodos disponíveis dividem-se, principalmente, em três grupos: físicos, biológicos e bioquímicos (Grover *et al.*, 2022).

1.5.1 Métodos Físicos

Os métodos físicos de remoção do etanol envolvem principalmente processos pós-fermentação, muito utilizados, como a evaporação e técnicas de separação por meio de membranas, visando à conservação de outros componentes presentes na cerveja importantes para o aroma e sabor (Jackowski; Trusek, 2018). A evaporação do etanol pode ser feita em evaporadores de camada fina. Este processo ocorre a partir da entrada da cerveja no evaporador e distribuição da mesma pela atuação da força centrífuga nas camadas finas, com espessura de 0,1 mm e aquecidas em temperaturas entre 30 e 40 °C, podendo ser recirculada pelo sistema caso seja necessária uma maior redução do teor de etanol, e, ao fim do processo, direcionada para refrigeração e carbonatação (Costa, 2016).

Segundo Silva *et al.* (2016), a cerveja também pode ter seu teor alcoólico reduzido por meio de métodos de destilação, como, por exemplo, a destilação tradicional, que é um processo mais simples onde caldeiras de fervura são aquecidas pela ebulição da água presente no equipamento. A cerveja que passará pelo sistema terá seu volume reduzido em 30%, eliminando o álcool etílico e uma certa quantidade de água, que será recomposta posteriormente.

No processo de destilação a vácuo, a eliminação do álcool da cerveja se dá em temperaturas menores, entre 40 e 60 °C, reduzindo, assim, os impactos causados na qualidade do produto que ocorrem durante a destilação tradicional devido à maior exposição ao tratamento térmico em temperaturas elevadas (Briggs *et al.*, 2004).

Além dos tratamentos térmicos já citados, outro método de redução alcoólica da cerveja é o processo de osmose reversa, que não envolve tratamento térmico. Neste método, utilizam-se membranas semipermeáveis que atuam como filtros seletivos para água, etanol e outros compostos. O sistema é condicionado com a aplicação de pressão entre 30–80 bar no lado mais concentrado, invertendo o fluxo

osmótico natural, permitindo a separação dos compostos que constituem a cerveja convencional, principalmente o álcool (Silva *et al.*, 2016).

O processo de osmose reversa é constituído por uma primeira fase de concentração, com a separação de componentes da cerveja como o álcool, a água e o gás carbônico; uma segunda fase, envolvendo um processo de adição controlada de água ao retentado resultante da primeira fase de concentração, permitindo a remoção contínua de solutos de baixo peso molecular, como o etanol residual, sais minerais e pequenas moléculas orgânicas; e uma terceira fase, onde ocorrerá a reposição dos componentes da água correspondentes ao volume inicial, reduzindo, assim, o teor alcoólico da bebida ao longo do processo (Grover *et al.*, 2022).

Outra tecnologia envolvendo a desalcoholização da cerveja por membranas é a diálise, onde a separação do etanol da cerveja ocorre por meio da inserção da cerveja convencional em um sistema composto por um módulo de diálise com membranas de celulose e um reator (Moraes, 2020).

1.5.2 Métodos Biológicos e Bioquímicos

Além dos métodos físicos para redução alcoólica da cerveja, existem também tecnologias baseadas em métodos biológicos e bioquímicos. Suas aplicações envolvem intervenções e controle em etapas da produção de cerveja, como a mosturação e a fermentação. A escolha do método e das estratégias dependerá da viabilidade estrutural e financeira, bem como do objetivo no contexto da indústria e do produtor em questão (Grover *et al.*, 2022).

Segundo Silva (2016), a produção de cerveja sem álcool por restrição da produção de etanol durante a fermentação apresenta algumas vantagens econômicas. No entanto, pode desagradar os consumidores, uma vez que resulta em uma bebida com alto teor de extrato não fermentescível, conferindo ao produto um sabor de mosto, com uma característica muito doce ao paladar devido à presença de muitos açúcares que não foram fermentados pelas leveduras.

O controle na execução da mosturação, em relação às determinadas atividades enzimáticas, é uma das estratégias utilizadas para restringir a produção de etanol na cerveja. Essa técnica visa limitar a formação de açúcares fermentescíveis e sua disponibilidade no mosto durante essa etapa (Grover *et al.*, 2022).

A produção de açúcares fermentescíveis que serão convertidos em etanol pelas leveduras decorre, principalmente, da ação catalítica das enzimas β -amilases,

cuja temperatura ótima varia entre 60 e 65 °C. Dessa forma, recomenda-se o aumento da temperatura durante a mosturação, com o objetivo de desativar essas enzimas, sendo ideal atingir temperaturas entre 75 e 80 °C. Esse procedimento promove maior atividade das α -amilase e, conseqüentemente, a formação de um mosto com maior proporção de dextrinas, que são açúcares não fermentescíveis (Jackowski; Trusek, 2018).

Outras estratégias que envolvem o processo de mosturação para restringir a produção de etanol na cerveja incluem a realização da mosturação a frio, com temperaturas abaixo de 60 °C, e a utilização de maltes que promovam atividade enzimática específica, conforme o objetivo de produção. Por exemplo, podem-se utilizar maltes com baixa atividade de β -amilases (Costa, 2016).

Na etapa de fermentação, também é possível aplicar técnicas para restringir a produção de etanol na cerveja. A fermentação interrompida é um dessas técnicas e consiste na interrupção do processo fermentativo por meio de rápido resfriamento até 0 °C, seguido de centrifugação ou aumento de pressão (Silva *et al.*, 2016).

Segundo Grover *et al.* (2022), essa técnica apresenta algumas desvantagens, como a dificuldade no controle das intervenções durante o processo, além da baixa produção de ésteres e álcoois superiores, compostos importantes para a característica sensorial do produto final, o que pode comprometer sua qualidade. Outras alterações e técnicas na etapa de fermentação incluem o uso de leveduras imobilizadas em processo contínuo, aplicadas em sistemas compostos por reatores de mistura, de leite empacotado ou leite fluidizado (Silva *et al.*, 2016).

1.6 Legislação Referente à Produção de Cerveja no Brasil

No Brasil, os padrões de identidade e qualidade dos produtos de cervejaria são estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019 (Brasil, 2019). Instituições como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) também exercem papéis importantes na fiscalização e padronização da comercialização dos produtos cervejeiros (Costa, 2018; Brasil, 2019).

Segundo Brasil (2019), destacam-se aspectos importantes quanto à classificação dos tipos de cervejas comercializadas, considerando características de sua forma de produção, como os ingredientes utilizados. Exemplos incluem as

cervejas sem glúten, cerveja gruit, cerveja de múltipla fermentação, cerveja *light*, *chopp* e *Malzbier* (Brasil, 2019; Oliveira, 2017).

Outros aspectos importantes da legislação cervejeira no Brasil são as normas que definem os padrões de rotulagem e publicidade das cervejas. Sua comercialização exige transparência e coerência quanto às informações fornecidas ao consumidor sobre o teor alcoólico, origem, ingredientes, data de validade e dados do fabricante (Brasil, 2019; Marques, 2020).

A legislação vigente no Brasil também estabelece os valores de concentração alcoólica entre os tipos de cerveja, classificando como “cerveja” aquela que contém 2,0% de álcool ou mais em volume (v/v), “cerveja sem álcool” ou “cerveja desalcooolizada” aquela com 0,5% de álcool ou menos em volume (v/v), e “cerveja com baixo teor alcoólico” aquela com teor alcoólico entre 0,5 e 2,0% em volume (v/v) (Brasil, 2019).

As cervejas são classificadas, de acordo com a Instrução Normativa nº 65/2019 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), conforme diversos critérios, incluindo o extrato primitivo, a proporção de matérias-primas, o teor alcoólico e o tipo de fermentação. Quanto ao extrato primitivo, a legislação determina que “deve ser sempre maior ou igual a 5,0% em peso” (BRASIL, 2019, art. 7º, §1º). Com relação à proporção de matérias-primas, são classificadas como: cerveja (mínimo de 55% de cevada malteada e até 45% de adjuntos), cerveja 100% malte, cerveja 100% malte de (nome do cereal) e cerveja de (nome do cereal predominante), quando os adjuntos superam 55% (Brasil, 2019).

Adicionalmente, a legislação também admite classificações quanto ao tipo de fermentação (alta ou baixa) e ao teor alcoólico (sem álcool, com baixo teor alcoólico ou comum, conforme art. 11). O uso das denominações como “puro malte” ou a inclusão do nome do cereal adjunto é regulamentado conforme a composição do mosto. Assim, a categorização legal da cerveja no Brasil vai muito além de critérios sensoriais, sendo fortemente fundamentada em padrões físico-químicos, conforme estabelecido na norma oficial vigente (Brasil, 2019).

Segundo Santos (2018), apesar da existência de uma legislação nacional que estabelece parâmetros detalhados quanto à identidade, qualidade, rotulagem e composição da cerveja, a indústria cervejeira brasileira ainda enfrenta significativos desafios regulatórios, sobretudo no que se refere à inserção de seus produtos no mercado internacional. As divergências entre os marcos regulatórios brasileiros e os

padrões adotados por organismos internacionais geram entraves burocráticos que podem comprometer a competitividade das cervejarias nacionais, especialmente as de pequeno e médio porte. Tais descompassos dizem respeito não apenas à composição permitida e às exigências de rotulagem, mas também aos critérios de classificação, limites para uso de aditivos e parâmetros analíticos exigidos para certificações e autorizações de comercialização (Santos, 2018).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes regimes de mosturação na atividade enzimática e na extração de sólidos solúveis, variando as faixas de temperatura entre aproximadamente 50 e 77 °C, com a finalidade de obter um extrato cervejeiro de baixo potencial alcoólico e, assim, viabilizar a produção de cervejas sem álcool ou de baixo teor alcoólico.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar quatro condições de mosturação distintas: realizar mosturas sob quatro perfis de temperatura
- b) Monitorar a extração de sólidos solúveis ao longo do tempo: 15, 30, 45 e 60 minutos de mosturação.
- c) Comparar o rendimento fermentescível entre os regimes: analisar comparativamente os valores de teorres de sólidos solúveis (°B) em cada tempo e regime.
- d) Identificar regimes propícios para baixo teor alcoólico.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Biologia Celular e Molecular da Escola de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto (LBCM/EF/UFOP) e na Planta Piloto de Produtos Vegetais e Bebidas da Escola de Nutrição da Universidade Federal de Ouro Preto (PPPVB/ENUT/UFOP). A execução dos experimentos e análises foram realizadas nas seguintes etapas:

3.1 Malte de cevada

O malte selecionado para a produção da cerveja foi o *Pale Ale* SC25 da Cooperativa Agrária Agroindustrial, lote PA0000322, escolhido em virtude de suas características físico-químicas que favorecem o desempenho fermentativo e a qualidade sensorial do produto final.

As informações sobre o malte selecionado estão descritas na Tabela 1.

Parâmetro	Valor Obtido
Tipo e Lote	<i>Pale Ale</i> SC25 – Lote PA0000322
Extrato (moagem fina I.A.)	81,6 %
Umidade	4,5 %
Cor do Mosto	5,60 EBC
Friabilidade	83 %
Poder Diastásico	314 WK
β -Glucanos	112 mg/L
Viscosidade	1,57 mPa.s
Proteína Total	11,2 %
Índice Kolbach (KI)	45 %
Micotoxinas	DON: 125 ppb; ZEA: 25 ppb; AFL: 2,0 ppb; OTA: 2,0 ppb
Pousio Técnico	30 dias

Tabela 1. Síntese com os principais parâmetros do malte utilizado

Fonte: O autor, 2025.

Nota: O KI indica o grau de modificação proteolítica que o malte sofreu durante o processo de malteação. DON é o deoxinivalenol (conhecido como vomitoxina), associado principalmente a distúrbios digestivos e redução do consumo; ZEA é a zearalenona, que possui ação estrogênica e pode causar alterações reprodutivas; AFL corresponde às aflatoxinas, altamente hepatotóxicas e potencialmente carcinogênicas; e OTA é a ocratoxina A, relacionada principalmente a lesões renais e imunossupressão.

3.2 Moagem do Malte

A moagem foi realizada em um equipamento do tipo moedor a discos, utilizando-se moagem fina do malte para a execução do presente estudo. A massa de malte utilizada em todos os regimes de mosturação testados foi de 87,5 g de malte de cevada tipo *Pale Ale* Agrária em balança analítica.

Em todos os ensaios, foi empregada 87,5 g de malte de cevada *Pale Ale* por regime de mosturação. Essa quantidade fixa foi definida para padronizar a carga de grãos em relação ao volume de água utilizado (700 mL), garantindo condições equivalentes de proporção sólido/líquido em cada teste. A escolha de 87,5 g corresponde a uma relação aproximada de 1:8 (massa de malte:volume de água), levando em consideração a capacidade dos béqueres de 1 L e visou proporcionar a formação de extratos adequados para coleta e para as análises posteriores (Thesseling

et al., 2019).

3.3 Mosturação

Para a realização da mosturação, empregaram-se equipamentos de banho térmico eletrônico, com controle do pH, e o método de infusão utilizado foi o BIAB (*Brew in a bag*). O preparo iniciou-se com a adição de água no reservatório do equipamento até atingir um nível adequado, suficiente para promover a imersão parcial dos béqueres, sem cobri-los completamente e evitando transbordamentos durante a inserção. Essa precaução assegura uma transferência de calor eficiente e uniforme no sistema.

Para o pré-aquecimento da água inserida no banho-maria, foi realizada a programação prévia por meio do sistema digital do equipamento, o qual possibilita a seleção da temperatura final a ser atingida.

Para definir a temperatura de pré-aquecimento do banho térmico e da água de mosturação, aplicou-se o balanço de energia água-grão, que leva à equação de *strike* – termo usado para se referir à temperatura da água de mosturação no momento em que ela entra em contato com o malte moído:

$$T_{\text{água}} = T_{\text{alvo}} + \frac{c_g}{c_w \cdot r} (T_{\text{alvo}} - T_{\text{grão}})$$

Esse método está descrito na literatura cervejeira e compara-se às formulações tradicionais de *strike* (Barth, 2024). Além disso, pré-aquecer o sistema até a temperatura de *strike* é prática recomendada em protocolos laboratoriais para evitar quedas bruscas no *mash-in* e estabilizar rapidamente o patamar desejado (Thesseling *et al.*, 2019)

Os béqueres utilizados possuem capacidade para 1000 mL, sendo preenchidos com 700 mL de água destilada para a realização do experimento. Seu uso teve como finalidade viabilizar a infusão, em determinadas temperaturas, dos *voils* (sacos de tecido fino) contendo malte em quantidades previamente definidas. Essa etapa permitiu a extração dos componentes formadores do extrato cervejeiro, como os açúcares fermentescíveis, não fermentescíveis e outros compostos derivados da atividade enzimática.

3.3.1 Definição dos Parâmetros dos Regimes de Mosturação

As quatro condições distintas de temperatura foram executadas em duplicata. Os regimes foram os seguintes:

- a) Regime de Mosturação 1 (Controle) utilizou uma rampa de aquecimento, iniciando-se com elevação da temperatura até 62 °C, onde permaneceu por 30 minutos, seguido de aquecimento até 72 °C, com manutenção por mais 30 minutos, perfazendo também um total de 60 minutos de mosturação, levando-se em consideração que o cronometro foi pausado durante o tempo de rampa (Briggs *et al.*, 2004; Kunze, 2014).
- b) Regime de Mosturação 2 também foi realizado durante 60 minutos, com aquecimento direto até 77 °C, mantendo-se constante nessa faixa durante toda a infusão;
- c) Regime de Mosturação 3 iniciou-se com aquecimento até 50 °C, mantendo-se nessa temperatura por 30 minutos, seguido de novo aquecimento até 77 °C, onde permaneceu por mais 30 minutos, totalizando 60 minutos de processo, levando-se em consideração que o cronometro foi pausado durante o tempo de rampa;
- d) Regime de Mosturação 4 foi conduzido durante 60 minutos, com aquecimento e estabilização da temperatura na faixa dos 50 °C.

As transições entre patamares (Rampas) foram conduzidas a uma taxa média de 1,6 °C·min⁻¹, o que resultou em rampas de ≈ 6 min 15 s para 62→72 °C (Regime 1) e ≈ 16 min 53 s para 50→77 °C (Regime 3). Considerando que os repousos de 30 minutos foram cronometrados após a estabilização da temperatura, os tempos reais de mosturação foram de ≈66,25 min no Regime 1 e ≈76,88 minutos no Regime 3.

Regime de Mosturação	Etapas de Aquecimento	Duração Total Real
Regime 1 (Controle)	62 °C por 30 min → 72 °C por 30 min	≈ 66,25 min.
Regime 2	77 °C direto por 60 min	60 min.
Regime 3	50 °C por 30 min → 77 °C por 30 min	≈ 76,88 min.
Regime 4	50 °C direto por 60 min	60 min.

Tabela 2.. Parâmetros dos Regimes de Mosturação

Fonte: O autor, 2025.

3.3.2 Monitoramento e Coleta dos Dados

Para o monitoramento durante os processos de mosturação, foram utilizados

termômetros do tipo analógicos para aferição constante da temperatura do meio, após homogeneização, onde foi realizada a infusão do malte e a formação do mosto. O teor de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{B}$) foi medido e expresso, por meio da utilização de refratômetros analógicos.

Adotaram-se quatro pontos de coleta para monitoramento e coleta da amostra: P1, P2, P3 e P4, rotulados como 15, 30, 45 e 60 minutos de tempo de estabilização nas temperaturas alvo estabelecidas. Ou seja, o cronômetro de cada janela (15 min) foi contado após a estabilização da temperatura alvo. Assim, nos regimes isotérmicos (Regime 2: 77°C ; Regime 4: 50°C), os tempos coincidem com 15, 30, 45 e 60 minutos. Nos Regime 1: $62 \rightarrow 72^{\circ}\text{C}$ e Regime 3: $50 \rightarrow 77^{\circ}\text{C}$, P1 e P2 correspondem ao tempo de 15 e 30 min, P3 e P4 correspondem a valores diferentes ao levarmos em consideração o tempo de rampa. Desta forma, o tempo total real de batelada é maior que 60 min porque inclui a rampa entre patamares nos regimes 1 e 3, mas P1 e P4 continuam refletindo 15/30/45/60 min levando-se em consideração a contagem do cronômetro e dos fatores físicos químicos e bioquímicos, elucidados anteriormente, relacionados à estabilização nas temperaturas alvo do presente estudo com a atividade enzimática durante o processo de mosturação.

Regime	Perfil térmico	P1 (min)	P2 (min)	P3 (min) Nominal/Real	P4 (min) Nominal/Real
Regime 1	$62 \rightarrow 72^{\circ}\text{C}$	15,00	30,00	45,00 / $\approx 51,25$	60,00 / $\approx 66,25$
Regime 2	77°C (isotérmico)	15,00	30,00	45,00 / 45,00	60,00 / 60,00
Regime 3	$50 \rightarrow 77^{\circ}\text{C}$	15,00	30,00	45,00 / $\approx 61,88$	60,00 / $\approx 76,88$
Regime 4	50°C (isotérmico)	15,00	30,00	45,00 / 45,00	60,00 / 60,00

Tabela 3. Perfil térmico de P1, P2, P3 e P4 em relação ao regime.

Fonte: O autor, 2025.

Nota: Em P3 e P4, os valores estão no formato nominal / real (min). O tempo nominal corresponde às janelas de 15/30/45/60 min contadas após a estabilização no patamar. Nos regimes com rampa (1 e 3), a transição entre patamares ocorreu a $1,6^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ e não integra as janelas; por isso o tempo real acumulado supera o nominal após a rampa (P3 e P4).

3.3.3 Análise Estatística dos Dados Coletados

Os dados foram analisados em duas etapas: intrarregime (comparação do $^{\circ}\text{B}$ entre P1–P4 dentro de cada regime) e interregimes (comparação dos quatro regimes em cada ponto de coleta). Em ambos os casos empregou-se ANOVA *one-way*, seguida do pós-teste de *Tukey*; adotou-se $\alpha = 0,05$.

4 RESULTADOS

4.1 Teor dos Sólidos Solúveis Avaliados Intrarregimes

Para o Regime 1 (62–72 °C), a **figura 2** apresenta o teor de sólidos solúveis (°B) em P1–P4, como média (n = 2) e desvio-padrão. A comparação intrarregime foi realizada por ANOVA *one-way* ($\alpha = 0,05$), com pós-teste de *Tukey*. **A tabela 4** a seguir reúne as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey*.

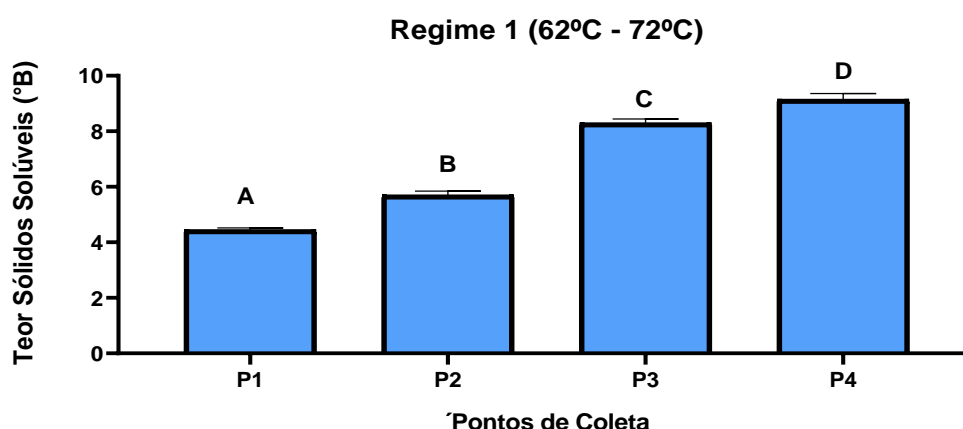


Figura 2. Regime 1 (62–72 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 4,5 ± 0,05 °B; P2 = 5,7 ± 0,1 °B; P3 = 8,3 ± 0,1 °B; P4 = 9,2 ± 0,1 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* a 0,05% de significância ($\alpha = 0,05$).

Fonte: O autor, 2025.

Ponto	°Brix (média ± DP)	Grupo (<i>Tukey</i> , $\alpha=0,05$)
P1	4,5 ± 0,05	A
P2	5,7 ± 0,1	B
P3	8,3 ± 0,1	C
P4	9,2 ± 0,1	D

Tabela 4. Regime 1 (62–72 °C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).

Fonte: O autor, 2025.

Para o Regime 2 (77 °C), a **figura 3** apresenta o teor de sólidos solúveis (°B) em P1–P4, como média (n = 2) e desvio-padrão. A comparação intrarregime foi realizada por ANOVA *one-way* ($\alpha = 0,05$), com pós-teste de *Tukey*. **A tabela 5** a seguir reúne as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey*.

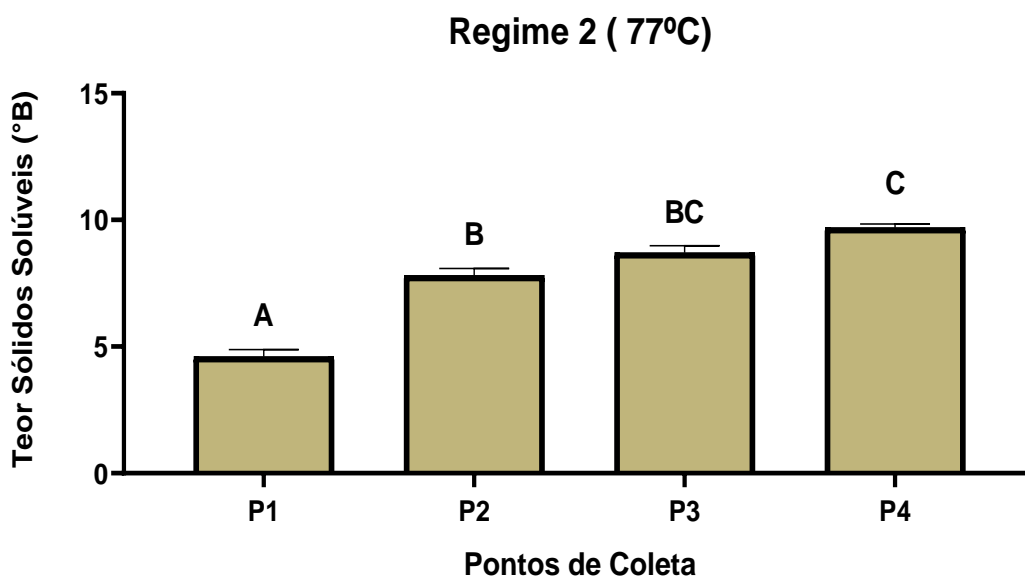


Figura 3. Regime 2 (77 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 4,6 ± 0,02 °B; P2 = 7,8 ± 0,2 °B; P3 = 8,7 ± 0,2 °B; P4 = 9,7 ± 0,1 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* significância ($\alpha = 0,05$).

Fonte: O autor, 2025.

Ponto	°Brix (média ± DP)	Grupo (<i>Tukey</i> , $\alpha=0,05$)
P1	4,6 ± 0,02	A
P2	7,8 ± 0,2	B
P3	8,7 ± 0,2	BC
P4	9,7 ± 0,1	C

Tabela 5. Regime 2 (77°C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).

Fonte: O autor, 2025.

Para o Regime 3 (50 °C – 77 °C), a **figura 4** apresenta o teor de sólidos solúveis (°B) em P1–P4, como média ($n = 2$) e desvio-padrão. A comparação intrarregime foi realizada por *ANOVA one-way* ($\alpha = 0,05$), com pós-teste de *Tukey*. **A tabela 6** a seguir reúne as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey*.

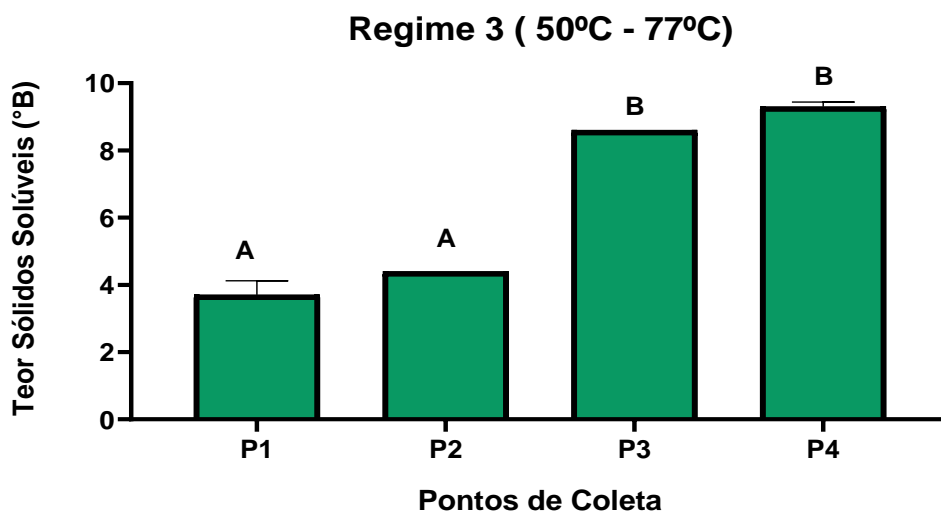


Figura 4. Regime 3 (50→77 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 3,7 ± 0,3 °B; P2 = 4,4 ± 0,0 °B; P3 = 8,6 ± 0,0 °B; P4 = 9,3 ± 0,1 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* significância ($\alpha = 0,05$).

Fonte: O autor, 2025.

Ponto	°Brix (média ± DP)	Grupo (<i>Tukey</i> , $\alpha=0,05$)
P1	3,7 ± 0,3	A
P2	4,4 ± 0,0	A
P3	8,6 ± 0,0	B
P4	9,3 ± 0,1	B

Tabela 6. Regime 2 (50 - 77°C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).

Fonte: O autor, 2025.

Para o Regime 4 (50 °C), a **figura 5** apresenta o teor de sólidos solúveis (°B) em P1–P4, como média ($n = 2$) e desvio-padrão. A comparação intrarregime foi realizada por ANOVA *one-way* ($\alpha = 0,05$), com pós-teste de *Tukey*. **A tabela 7** a seguir reúne as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey*.

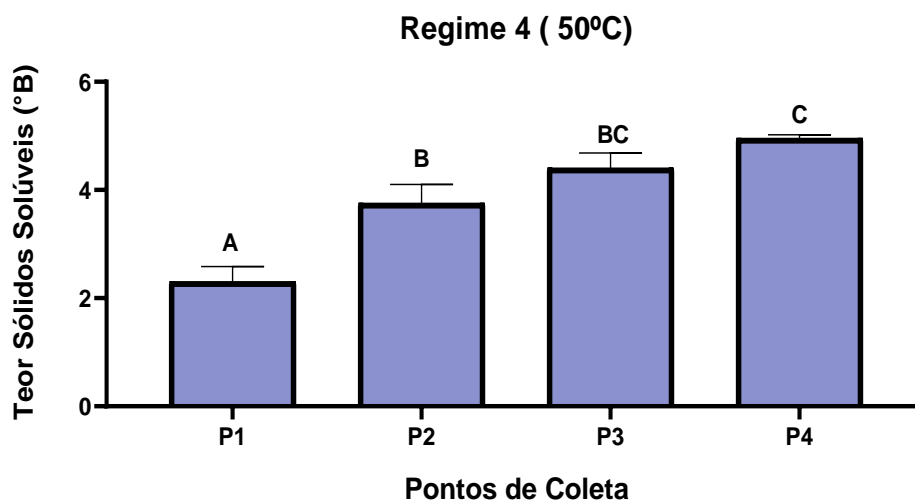


Figura 5. Regime (50 °C): Representação dos resultados de concentração de sólidos solúveis (média ± DP), sendo: P1 = 2,3 ± 0,2 °B; P2 = 3,8 ± 0,25 °B; P3 = 4,4 ± 0,2 °B; P4 = 5,0 ± 0,05 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* significância ($\alpha = 0,05$).

Fonte: O autor, 2025.

Ponto	°Brix (média ± DP)	Grupo (Tukey, $\alpha=0,05$)
P1	2,3 ± 0,2	A
P2	3,8 ± 0,25	B
P3	4,4 ± 0,2	BC
P4	5,0 ± 0,05	C

Tabela 7. Regime 2 (50 °C): comparação entre pontos de coleta (P1–P4).
Fonte: O autor, 2025.

4.2 Teor dos Sólidos Solúveis Avaliados Intreregimes

Para o ponto de coleta 1 (P1), a **figura 6** apresenta o teor de sólidos solúveis (°B) nos quatro regimes de mosturação, como média ($n = 2$) e desvio-padrão. A comparação entre regimes foi conduzida por *ANOVA one way* ($\alpha = 0,05$), seguida de pós-teste de *Tukey* para múltiplas comparações. A **tabela 8** sintetiza as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey* correspondentes.

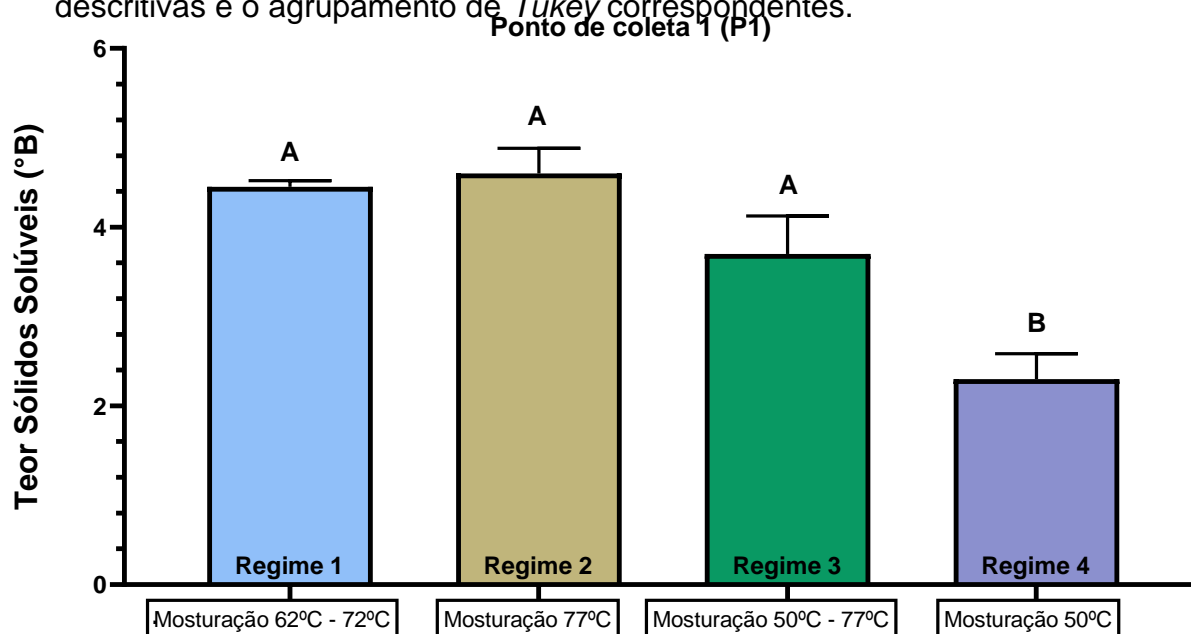


Figura 6. Representação resultados concentração sólidos solúveis, sendo; Regime 1: 4,5 ± 0,5; Regime 2: 4,6 ± 0,2 °B; Regime 3: 3,7 ± 0,3 °B; Regime 4: 2,3 ± 0,2 °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de Tukey à 0,05% de significância.

Fonte: O autor, 2025.

Regime	P1 (°Brix, média ± DP)	Grupo (Tukey, $\alpha=0,05$)
Regime 1	4,5 ± 0,05	A
Regime 2	4,6 ± 0,02	A
Regime 3	3,7 ± 0,3	A
Regime 4	2,3 ± 0,2	B

Tabela 8. Ponto de coleta 1 (P1): comparação entre regimes.
Fonte: O autor, 2025.

Para o ponto de coleta 2 (P2), a **figura 7** apresenta o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{B}$) nos quatro regimes de mosturação, como média ($n = 2$) e desvio-padrão. A comparação entre regimes foi conduzida por *ANOVA one way* ($\alpha = 0,05$), seguida de pós-teste de *Tukey* para múltiplas comparações. A **tabela 9** sintetiza as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey* correspondentes.

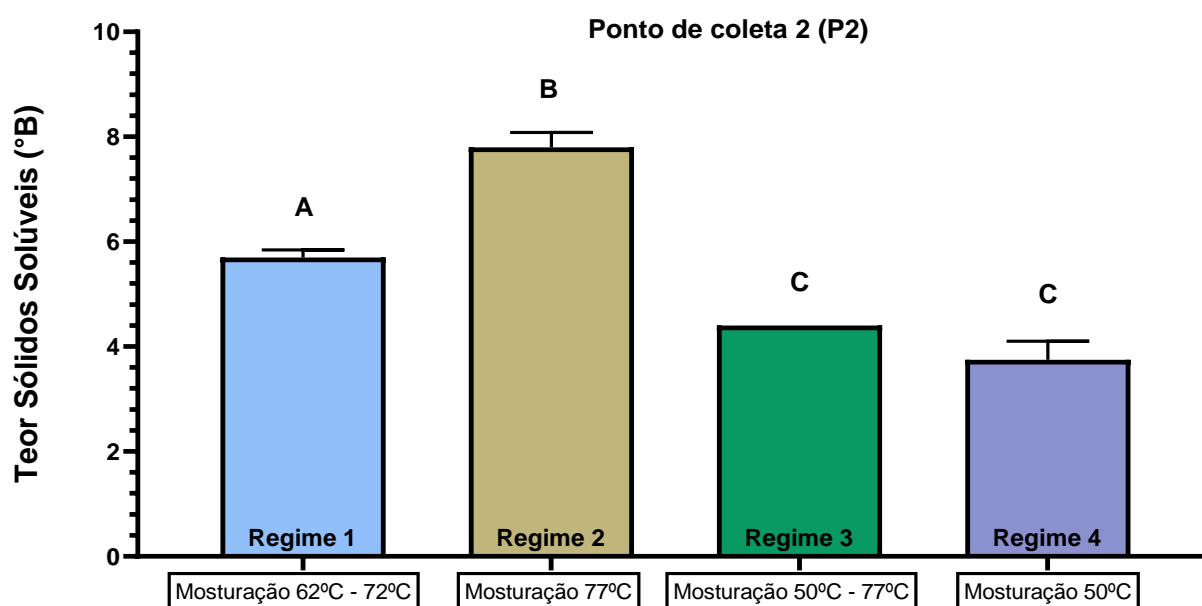


Figura 7. Representação resultados concentração sólidos solúveis, sendo: Regime 1: $5,7 \pm 0,1$; Regime 2: $7,8 \pm 0,2$; Regime 3: $4,4 \pm 0,0$; Regime 4: $3,8 \pm 0,25$ $^{\circ}\text{B}$. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de *Tukey* à 0,05% de significância

Fonte: O autor, 2025.

Regime	P2 ($^{\circ}\text{Brix}$, média \pm DP)	Grupo (<i>Tukey</i> , $\alpha=0,05$)
Regime 1	5,7 \pm 0,1	B
Regime 2	7,8 \pm 0,2	A
Regime 3	4,4 \pm 0,0	C
Regime 4	3,8 \pm 0,25	C

Tabela 9. Ponto de coleta 2 (P2): comparação entre regimes.

Fonte: O autor, 2025.

Para o ponto de coleta 3 (P3), a **figura 8** apresenta o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) nos quatro regimes de mosturação, como média ($n = 2$) e desvio-padrão. A comparação entre regimes foi conduzida por *ANOVA one way* ($\alpha = 0,05$), seguida de pós-teste de *Tukey* para múltiplas comparações. A **tabela 10** sintetiza as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey* correspondentes.

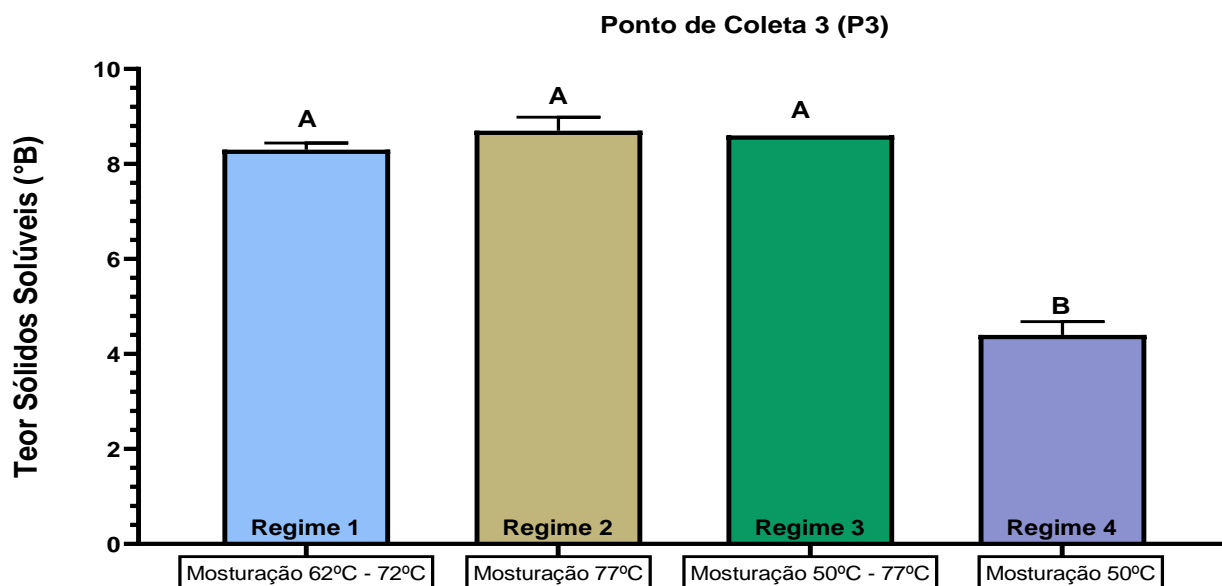


Figura 8. Representação resultados concentração sólidos solúveis-Regime 1: $8,3 \pm 0,1$ °B; Regime 2: $8,7 \pm 0,2$ °B; Regime 3: $8,6 \pm 0,0$ °B ; Regime 4: $4,4 \pm 0,2$ °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de Tukey à 0,05% de significância.

Fonte: O autor, 2025.

Regime	P3 (°Brix, média ± DP)	Grupo (Tukey, $\alpha=0,05$)
Regime 1	$8,3 \pm 0,1$	A
Regime 2	$8,7 \pm 0,2$	A
Regime 3	$8,6 \pm 0,0$	A
Regime 4	$4,4 \pm 0,2$	B

Tabela 10. Ponto de coleta 3 (P3): comparação entre regimes.

Fonte: O autor, 2025.

Para o ponto de coleta 4 (P4), a **figura 9** apresenta o teor de sólidos solúveis (°B) nos quatro regimes de mosturação, como média ($n = 2$) e desvio-padrão. A comparação entre regimes foi conduzida por *ANOVA one way* ($\alpha = 0,05$), seguida de pós-teste de *Tukey* para múltiplas comparações. A **tabela 11** sintetiza as estatísticas descritivas e o agrupamento de *Tukey* correspondentes.

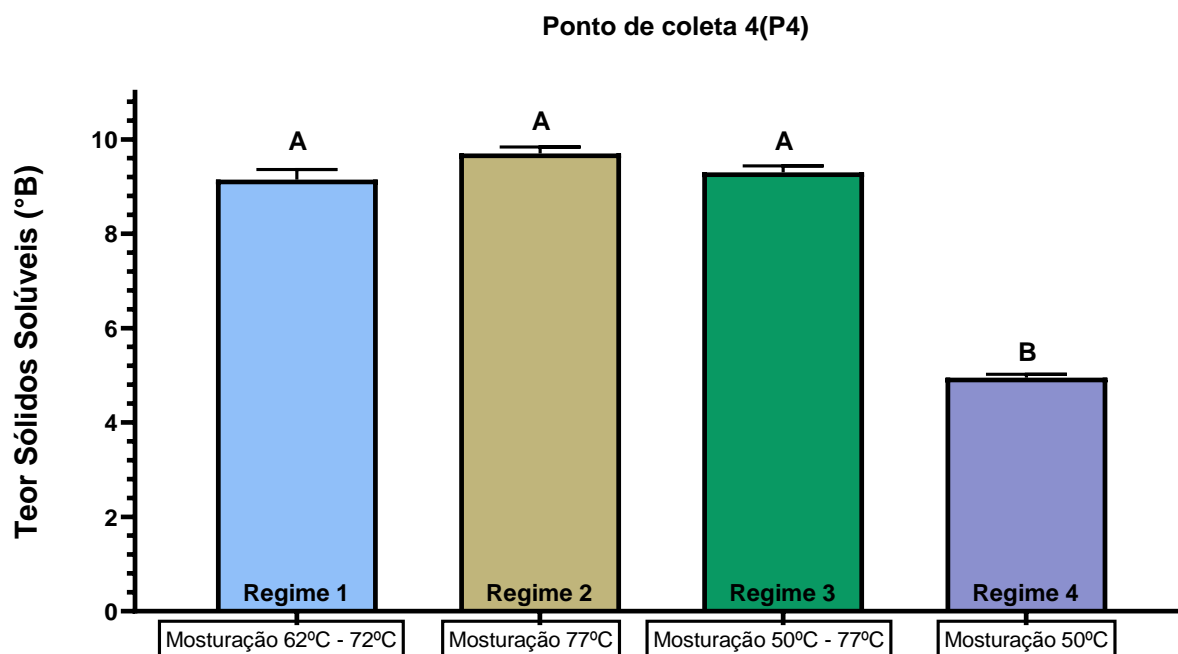


Figura 9. Representação resultados concentração sólidos solúveis-Regime 1: $8,3 \pm 0,1$ °B; Regime 2: $8,7 \pm 0,2$ °B; Regime 3: $8,6 \pm 0$ °B ; Regime 4: $4,4 \pm 0,2$ °B. Colunas com mesmas letras representam valores sem diferenças significativas pelo teste de Tukey à 0,05% de significância.

Fonte: O autor, 2025

Regime	P4 (°Brix, média ± DP)	Grupo (Tukey, $\alpha=0,05$)
Regime 1	9,2 ± 0,1	A
Regime 2	9,7 ± 0,1	A
Regime 3	9,3 ± 0,1	A
Regime 4	5,0 ± 0,05	B

Tabela 11. Ponto de coleta 4 (P4): comparação entre regimes.

Fonte: O autor, 2025.

5 DISCUSSÃO

Na análise multicomparativa, os regimes com os maiores teores de sólidos solúveis não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si (Regime 1, Regime 2 e Regime 3). Segundo Silva (2016), tanto a temperatura quanto o tempo de exposição durante a etapa de mosturação constituem variáveis determinantes na composição final do mosto, influenciando diretamente o perfil de açúcares fermentescíveis e não fermentescíveis presentes no meio. Essa influência foi claramente evidenciada nos dados obtidos neste estudo, especialmente no regime de mosturação conduzido a 50 °C por 60 minutos, o qual apresentou o menor teor em termos de concentração de sólidos solúveis (°B).

Essa menor taxa de conversão em carboidratos simples, quando comparada aos demais regimes realizados em faixas térmicas mais elevadas, entre 62 e 72 °C, corrobora a relevância das condições enzimáticas ótimas para a eficiente conversão do amido em açúcares solúveis, e reforça a compreensão de que temperaturas abaixo da faixa de atuação ideal das amilases limitam significativamente a atividade hidrolítica e, por conseguinte, a formação do extrato cervejeiro (Evans *et al.*, 2012; Muller, 1991; Briggs *et al.*, 2004).

O regime 2, realizado à temperatura constante de 77 °C, apresentou concentração de sólidos solúveis de 9,7 °B após 60 minutos de mosturação. De acordo com Ivanov *et al.* (2016), em estudo voltado à avaliação de diferentes regimes de mosturação para a produção de cervejas com teor alcoólico reduzido, observou-se que tanto a mosturação a 50 °C por 30 minutos quanto aquela a 77 °C por 60 minutos apresentaram potencial para obtenção de cervejas com 1,5% de álcool (v/v), reforçando as discussões geradas por este trabalho.

Embora 77 °C esteja acima da faixa ótima de atuação da β -amilase ($\approx 62\text{--}65$ °C) e da α -amilase ($\approx 68\text{--}72$ °C), essa temperatura ainda pode permitir uma ação enzimática residual da α -amilase, especialmente nos minutos iniciais da mosturação, antes de sua completa desnaturação térmica. Isso pode explicar, em parte, o elevado teor de sólidos solúveis observado no regime 2. Assim, a alta temperatura do regime 2 pode promover uma rápida degradação do amido em dextrinas, contribuindo para o elevado teor de extrato observado, ainda que com menor geração de açúcares fermentescíveis, condição associada a maior extrato real (Briggs *et al.*, 2004; Kunze,

2014; Evans *et al.*, 2012; Muller, 1991).

O Regime 3, que combinou uma etapa inicial a 50 °C por 30 minutos, seguida por aquecimento até 77 °C por mais 30 minutos, apresentou valores finais de 9,3 °B, também expressivos. Essa abordagem escalonada permitiu uma ativação parcial das β -amilases na fase inicial, com posterior ação enzimática mais intensa da α -amilase durante a elevação térmica, promovendo a conversão tanto de amido quanto de dextrinas (De Schepper *et al.*, 2021; Laus *et al.*, 2022). A combinação sequencial de temperaturas pode ter resultado em um mosto equilibrado em termos de perfil de açúcares, com potencial para controle do corpo e do teor alcoólico final da cerveja, dependendo das condições fermentativas subsequentes (Ivanov *et al.*, 2016; Müller, 1991; Endres *et al.*, 2022).

Entretanto, ao considerar os dados obtidos no presente estudo, bem como os resultados de outras pesquisas que analisaram a concentração de sólidos solúveis no mosto produzido em regime de mosturação submetido à temperatura de 77 °C, observa-se uma aparente contradição em relação às informações clássicas disponíveis na literatura técnico-científica, especialmente quanto à estabilidade térmica das enzimas amilolíticas oriundas da cevada malteada (Briggs *et al.*, 2004; Ivanov *et al.*, 2016; Petelkov *et al.*, 2021; Laus *et al.*, 2022)

A α -amilase, enzima responsável pela clivagem aleatória das ligações α -1,4 dos polissacarídeos, possui faixa ótima de atuação entre 68 e 72 °C, enquanto a β -amilase, encarregada da liberação de maltose pelas extremidades das cadeias, apresenta atividade ideal entre 62 e 65 °C. Ambas enzimas sofrem rápida desnaturação térmica à medida que a temperatura se aproxima de 75 a 78 °C, sendo que a β -amilase, em particular, é altamente sensível à elevação térmica, perdendo a maior parte de sua atividade funcional acima de 70 °C (Briggs *et al.*, 2004).

Nesse contexto, o desempenho observado no regime 2 (77 °C por 60 minutos), com rendimento elevado de sólidos solúveis (9,7 °B), suscita questionamentos quanto à residualidade térmica das enzimas e à possível contribuição de outras variáveis tecnológicas, como a composição varietal do malte, a eficiência da gelatinização e a velocidade de aquecimento (De Schepper *et al.*, 2022; Laus *et al.*, 2022). É plausível que, nos instantes iniciais da exposição a 77 °C, a α -amilase ainda conserve atividade suficiente para hidrolisar parcialmente o amido já gelatinizado, contribuindo para o perfil de dextrinas observado no mosto (Endres *et al.*, 2022).

Vale destacar que a faixa de 77 °C é tradicionalmente associada à etapa de

mash-out, cuja função não é otimizar a atividade enzimática, mas sim encerrar a mosturação enzimática (por desnaturação das enzimas remanescentes) e facilitar a separação do mosto das cascas e partículas sólidas pela redução da viscosidade (Kunze, 2014). O fato de a mosturação ter sido conduzida inteiramente nessa temperatura (77 °C), e ainda assim ter promovido significativa liberação de sólidos solúveis, pode indicar uma tolerância térmica maior do que o esperado para a α -amilase, ou ainda a presença de isoenzimas com maior resistência térmica em algumas cultivares de cevada, conforme já relatado para diferenças de termoestabilidade enzimática entre variedades (Evans *et al.*, 2003)

Essa divergência evidencia a necessidade de estudos mais aprofundados, que fundamentem com maior rigor os aspectos bioquímicos e tecnológicos envolvidos na mosturação em temperaturas elevadas, especialmente quando aplicada à formulação de cervejas com teor alcoólico reduzido ou características sensoriais específicas. Ademais, compreensões mais refinadas sobre a cinética de desnaturação enzimática e a influência de fatores como pH, composição do malte e taxa de aquecimento podem esclarecer os mecanismos responsáveis pelo comportamento atípico observado no regime 2 (De Schepper *et al.*, 2021).

O Regime 4, conduzido a 50 °C por 60 minutos, resultou em um mosto final de 5°B o que pode ser atribuído à baixa atividade da enzima β -amilase nessa faixa de temperatura. Essa enzima, fundamental para a conversão do amido em açúcares fermentescíveis, como a maltose, possui faixa ótima de atuação entre 62 e 65 °C, sendo sua atividade significativamente reduzida em temperaturas inferiores (Briggs *et al.*, 2004). Além disso, a gelatinização do amido, etapa essencial para tornar os grânulos de amido acessíveis às enzimas hidrolíticas, ocorre em geral entre \approx 58 e 65 °C para a cevada maltada (Rittenauer *et al.*, 2021)

Quando o processo de mosturação é conduzido abaixo dessa faixa, como no caso do Regime 4, a disponibilidade do amido para a ação enzimática é limitada, o que resulta em menor liberação de açúcares fermentescíveis no mosto (Laus *et al.*, 2022; Petelkov *et al.*, 2021). Essa combinação de baixa gelatinização do amido e atividade enzimática restrita contribui para um extrato reduzido, o que é considerado tecnicamente relevante para a produção de cervejas com teor alcoólico reduzido ou isentas de álcool, já que o menor teor de açúcares fermentescíveis limita a geração de etanol durante a fermentação (Laus *et al.*, 2022; De Schepper *et al.*, 2021). Assim, o mosto obtido no Regime 4 revela-se promissor para formulações voltadas à produção

de cervejas especiais com baixa graduação alcoólica, sem a necessidade de processos adicionais de dealcoolização.

Diante dos resultados obtidos para os diferentes regimes de mosturação testados, verifica-se que as variações térmicas e os tempos de infusão adotados impactaram significativamente a concentração de sólidos solúveis no mosto, refletindo diretamente na disponibilidade de açúcares fermentescíveis e, conseqüentemente, no teor alcoólico potencial da cerveja. Essa variável é determinante para o planejamento de formulações com características específicas, especialmente no contexto da produção de cervejas com baixo ou nenhum teor alcoólico (Evans *et al.*, 2012; Müller, 1991; Endres *et al.*, 2022).

Ao se observar que o Regime 4, conduzido integralmente a 50 °C, apresentou os menores teores de sólidos solúveis (°B) ao final da mosturação, destaca-se seu potencial tecnológico para a formulação de cervejas com baixo teor alcoólico ou isentas de álcool, pois a menor quantidade de extrato fermentescível limita, de forma natural, a produção de etanol (Laus *et al.*, 2022; De Schepper *et al.*, 2021). Em contrapartida, os Regimes 1 e 3, que apresentaram teores superiores de sólidos solúveis em faixas de temperatura compatíveis com a atividade de α -amilase e β -amilase, revelam-se mais adequados à produção de estilos com maior teor alcoólico (Evans *et al.*, 2012; Müller, 1991).

O Regime 2, embora tenha registrado elevado teor (°B), deve ser interpretado com cautela, uma vez que, supõe-se que a maior parte dos sólidos solúveis pode ser composta por dextrinas não fermentescíveis, o que o torna potencialmente útil para cervejas com teor alcoólico reduzido (menor fermentabilidade) e com maior extrato real (Laus *et al.*, 2022; Müller, 1991; Endres *et al.*, 2022).

Dessa forma, os resultados deste estudo contribuem para o entendimento da influência dos parâmetros de mosturação na modulação do perfil fermentativo, oferecendo subsídios técnicos para a elaboração de cervejas diferenciadas, especialmente aquelas voltadas ao segmento NABLAB (*non-alcoholic and low-alcoholic beers*), cujo mercado encontra-se em expansão e com desafios sensoriais ainda em aberto.

6 CONCLUSÃO

Foram investigados no presente estudo, diferentes regimes de mosturação da

cerveja. Considerando o teor de sólidos solúveis (°B), os dados obtidos pelo presente estudo indicam impacto e diferenças significativas de parâmetros como temperatura e tempo na atividade enzimática e formação do extrato cervejeiro ao longo do processo.

O Regime 4 (50 °C direto por 60 min), ao final da mosturação (60 min), apresentou teor de sólidos solúveis de 5,0 °B, caracterizando mosto de provável baixo potencial alcoólico, assim como o Regime 1 (controle) aos 30 min, que registrou 5,7 °B. Já os Regimes 2 (77 °C) e 3 (50→77 °C), a partir dos 30 minutos, mostraram evolução dos teores de sólidos solúveis, atingindo 9,7 °B aos (60 min) e 9,3 °B aos (60 min) respectivamente, valores compatíveis com provável maior potencial de produção de álcool durante a posterior etapa de fermentação e, portanto, não adequados à produção de cervejas com álcool reduzido. De modo análogo, o Regime 1 (controle), ao final de 60 min, apresentou 9,2 °B, valor já não interessante para a formação de um extrato de baixo potencial fermentativo.

As evidências obtidas reforçam a relevância de métodos bioquímicos e biológicos como estratégias potencialmente viáveis economicamente para a produção de cervejas com teor alcoólico reduzido, em comparação aos métodos físicos mais onerosos. Os regimes avaliados oferecem subsídios importantes à indústria, indicando possibilidades de controle enzimático e de condições operacionais eficazes na obtenção do perfil desejado de açúcares.

6.1 Perspectivas

As perspectivas envolvem tanto a melhoria da caracterização técnico-científica dos mostos obtidos (análises químicas e testes controlados de fermentação), quanto a aplicação prática dessas descobertas no desenvolvimento de cervejas comerciais sem álcool ou de baixo teor alcoólico. Nesse sentido, será importante realizar análise por CLAE dos carboidratos (glicose, maltose, maltotriose e dextrinas) para quantificar a fração efetivamente fermentescível, estimar o álcool potencial e validar se os regimes de mosturação de fato deslocam o perfil para açúcares não fermentáveis.

Outra demanda seria produzir lotes-piloto utilizando as condições destacadas pelo estudo, conduzindo fermentações padronizadas (mesma cepa, inóculo e temperatura) para mensurar atenuação do extrato do mosto aparente e real.

Por fim, a avaliação sensorial de lotes experimentais produzidos seria importante para verificar o impacto no corpo, dulçor residual, amargor e aroma da cerveja, orientando ajustes de processo. Com o crescente interesse do mercado por

cervejas não alcoólicas, pesquisas futuras nessa linha terão papel importante em refinar as metodologias de produção, tornando-as mais eficientes e garantindo que o produto ofereça uma experiência sensorial satisfatória ao consumidor.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Juliana Machado. **Análise do óleo essencial de variedades de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) cultivadas no Brasil por cromatografia gasosa uni e bidimensional.** 2020. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

ARAÚJO, Geiza Suzart. **Elaboração de uma cerveja ale utilizando melão de caroá [*Sicana odorífera* (Vell.) Naudim] como adjunto do malte.** 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

AZEVEDO, Louis Fillipi; DE SOUZA, Patrick Gomes. **Avaliação da perda de extrato de cerveja na etapa de brassagem em uma microcervejaria de Manaus.** *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 4, p. 34537–34556, 2021.

BAMFORTH, C. **Brewing: new technologies.** Cambridge: Woodhead, 2006.

BARTH, R. **Strike Water Temperature.** *MBAA Technical Quarterly*, v. 61, n. 1, 2024.

BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing yeast and fermentation.** Oxford: Blackwell Science Ltd, 2001.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019.** Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. *Diário Oficial da União*, 2019.

BRIGGS, D. E. *et al.* **Brewing: science and practice.** Cambridge: Woodhead, 2004.

BRÁNYIK, T. *et al.* **A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production.** *Journal of Food Engineering*, v. 108, n. 4, p. 493–506, 2012.

CAMARGO, C. **História da Cerveja no Brasil.** 2008.

CARVALHO, G. B. M.; BENTO, C. V.; SILVA, J. B. A. **Elementos fundamentais no processo cervejeiro: 1ª parte – as leveduras.** *Revista Analítica*, São Paulo, 2006.

COSTA, A. **História da produção de cerveja de baixo teor alcoólico no Brasil.** *Revista Brasileira de Cerveja*, v. 11, n. 3, p. 45–56, 2015.

COSTA, A. **Tendências de consumo de cervejas no Brasil**. *Revista Brasileira de Marketing*, v. 16, n. 2, p. 78–92, 2020.

COSTA, R. H. K. **Produção de cerveja com baixo teor alcoólico**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

D'AVILA, R. F.; LUVIELMO, M. M.; MENDONÇA, C. R. B.; JANTZEN, M. M. **Adjuntos utilizados para produção de cerveja: características e aplicações**. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, 2012.

DE SCHEPPER, C. F.; MICHIELS, P.; BUVÉ, C.; VAN LOEY, A.; COURTIN, C. M. Starch hydrolysis during mashing: **A study of the activity and thermal inactivation kinetics of barley malt α -amylase and β -amylase**. *Carbohydrate Polymers*, v. 255, p. 117494, 2021.

ENDRES, F. *et al.* **Constant temperature mashing at 72 °C for the production of beers with a reduced alcohol content in microbrewing systems**. *European Food Research and Technology*, v. 248, p. 1457–1468, 2022.

EVANS, D. E. *et al.* **Impact of mashing conditions on wort composition and fermentability**. 2012.

FARBER, M. *et al.* **Mastering brewing science: quality and production**. 1. ed. Nova Jersey: Wiley, 2019. 592 p.

FERREIRA, R. H. *et al.* **Inovação na fabricação de cervejas especiais na região de Belo Horizonte**. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 16, n. 4, p. 171–191, out. 2009.

FLANDERS. **A brief history of Belgian beer**. 2019. Disponível em: <https://www.visitflanders.com/en/themes/belgian-beer/a-brief-history-of-belgianbeer/index.jsp>. Acesso em: 25 mar. 2025.

GONÇALVES, R. **A cerveja no Brasil: a história da cervejaria Brahma**. 2015.

GROVER, *et al.* **Non alcoholic beers: review and methods**. *Madridge Journal of Food Technology*, v. 7, n. 1, p. 200–206, 2022.

HORNINK, G. **Princípios da produção cervejeira e as enzimas na mosturação**. Alfenas: Unifal-MG, 2022. 96 f.

IVANOV, K. *et al.* **Investigation of mashing regimes for low-alcohol beer production**. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 122, n. 3, p. 508–516, 2016.

JACKOWSKI, M.; TRUSEK, A. **Non-alcoholic beer production – an overview**. *Polish Journal of Chemical Technology*, v. 20, n. 4, p. 32–38, 2018.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. [S.l.: s.n.], 2004.

- LAUS, A. *et al.* **Isothermal mashing of barley malt: new insights into wort composition and enzyme temperature ranges.** *Food and Bioprocess Technology*, v. 15, p. 2294–2312, 2022.
- LEHNINGER, *et al.* **Princípios de bioquímica.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- LINKO, M. *et al.* **Recent advances in the malting and brewing industry.** *Journal of Biotechnology*, v. 65, n. 2–3, p. 85–91, 1998.
- MARQUES, F. **A indústria cervejeira no Brasil: desafios e perspectivas.** 2018.
- MARQUES, F. **Desafios e oportunidades no mercado de cerveja sem álcool.** *Journal of Consumer Trends*, v. 28, n. 1, p. 78–91, 2021.
- MARQUES, F. **Fermentação cervejeira: aspectos bioquímicos e tecnológicos.** *Journal of Fermentation Science*, v. 25, n. 2, p. 78–91, 2020.
- MORAES, J. C. B. **Cerveja artesanal com teor alcoólico reduzido e alta concentração de carboidratos.** 2020.
- NASCIMENTO, D. V.; LOPES, H. A. **Monitoramento, sensoriamento e controle remoto na produção de cerveja artesanal.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Telecomunicações) — Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2018. *Interface Tecnológica*, v. 19, n. 1, 2022. ISSN 2447-0864. NETO, C. *et al.* **Conceitos químicos envolvidos na produção da cerveja: uma revisão.** *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 1, p. 120–147, fev. 2020.
- OLIVEIRA, R. **Legislação cervejeira: análise do Decreto nº 6.871/2009 e suas implicações na produção de cerveja no Brasil.** *Revista de Legislação de Alimentos*, v. 23, n. 1, p. 102–115, 2017.
- OLIVEIRA, R. **Técnicas de fabricação de cerveja: da mostura ao envase.** *Revista de Tecnologia Cervejeira*, v. 38, n. 4, p. 102–115, 2019.
- PALMER, J. **How to brew: everything you need to know to brew great beer every time.** Brewers Publications, 2006.
- RITTENAUER, M.; GLADIS, S.; GASTL, M.; BECKER, T. **Gelatinization or pasting? The impact of different temperature levels on the saccharification efficiency of barley malt starch.** *Foods*, v. 10, n. 8, 1733, 2021.
- SANTOS, M. **Desafios regulatórios na indústria cervejeira brasileira: uma análise da legislação vigente.** *Revista de Regulação Econômica*, v. 22, n. 2, p. 56–68, 2018.
- SILVA, J. **Avanços tecnológicos na produção de cerveja de baixo teor alcoólico.** *Tecnologia de Alimentos*, v. 14, n. 1, p. 102–115, 2018.
- SILVA, J. **Cerveja no Brasil: produção, consumo e dinâmica territorial.** 2010.

SILVA, J. **Tendências de consumo de bebidas alcoólicas no Brasil: uma perspectiva do mercado cervejeiro.** *Journal of Consumer Trends*, v. 24, n. 4, p. 23–35, 2020.

SILVA, H. S. *et al.* **Cerveja e sociedade.** *Contextos da Alimentação – Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade*, v. 4, p. 85–91, 2016.

THESELING, F. A.; BIRCHAM, P. W.; MERTENS, S.; VOORDECKERS, K.; VERSTREPEN, K. J. **A hands-on guide to brewing and analyzing beer in the laboratory.** *Current Protocols in Microbiology*, v. 54, e91, 2019.

VENTURINI FILHO, W. G. (Coord.). **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1, 576 p.