



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Luan Jefferson de Souza Carvalho

Otimização do controle de pH na produção da cerveja Thermas Mossoró

MOSSORÓ

2025

Luan Jefferson de Souza Carvalho

Otimização do controle de pH na produção da cerveja Thermas Mossoró

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, campus Mossoró, com o objetivo de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Geraldine Angélica Silva da Nóbrega, Prof^a. Dr^a.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C331o Carvalho, Luan Jefferson de Souza.
Otimização do controle de pH na produção da
cerveja Thermas Mossoró / Luan Jefferson de Souza
Carvalho. - 2025.
33 f. : il.

Orientadora: Geraldine Angélica Silva da
Nóbrega.
Relatório (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2025.

1. controle de pH. 2. cerveja. 3. ácido
fosfórico. 4. Brix. 5. gravidade específica. I.
Nóbrega, Geraldine Angélica Silva da, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Luan Jefferson de Souza Carvalho

Otimização do controle de pH na produção da cerveja Themas Mossoró

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, campus Mossoró, com o objetivo de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Defendida em: 26 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
GERALDINE ANGELICA SILVA DA NOBREGA
Data: 26/03/2025 11:11:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Geraldine Angélica Silva da Nóbrega (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
FERNANDA LARISSA DO VALE BARBOSA
Data: 26/03/2025 13:44:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fernanda Laríssa do Vale Barbosa, Engenheira Química
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
THAIS DO CARMO OLIVEIRA SILVA
Data: 26/03/2025 18:29:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thaís do Carmo Oliveira Silva, Química
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

*Dedico este TCC a todos que não puderam
estar presentes em vida para essa vitória.*

*Maria Eleuza Moreira de Souza (In
Memoriam).*

Hilda Rosa da Silva (In Memoriam).

Cícero José de Carvalho (In Memoriam).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, eu agradeço a Deus. I Tessalonicenses, 5:18.

Agradeço à minha família. Mainha (minha querida e amada dona “Djôse”), painho (meu querido e eterno “Cabeça”), Luíse (minha eterna “choquinha”, que me ensinou o significado de amor fraterno), vovô Zé Cunha e tantos outros familiares que puderam sentir um pouco de como foi essa minha jornada acadêmica e me deram tanto amor, carinho e conselhos para a vida dos quais serei muito grato. Seja no presente do indicativo ou no futuro do presente do indicativo, eu amo e amarei vocês por toda a minha vida. Obrigado por tudo.

Agradeço à Alana, minha digníssima, minha parceira de vida, meu amor. Obrigado por tornar meus dias chatos e monótonos, mais cheios de vida e leveza. Obrigado pela segunda família que ganhei de brinde. Júnior, Kézia, Yuri, Aline e Maria Clara (minha princesa da Costa Branca). Que aquelas quatro estrofes finais de Confissão de Bukowski, fiquem sempre em sua mente.

Agradeço à minha querida professora e orientadora Dr^a. Geraldine Angélica Silva da Nóbrega, carinhosamente chamada por “Dine”, por todos os ensinamentos ao decorrer do curso, foi um prazer enorme ser seu aluno e orientando.

Agradeço aos meus melhores amigos Hiago e Leonam, por todas as resenhas que já tivemos, por todas as “conversas moles” na calçada tomando aquelas três, de lei. Obrigado por toda a amizade, meus caros.

Agradeço aos meus amigos da UFERSA, principalmente a todos que viveram a emoção do “busão” na sexta à noite, sem vocês teria sido bastante complicado.

Agradeço aos meus amigos e colegas da Engenharia Química. Em especial, aos que mais conviveram comigo neste último período, Medeiros e Luiz. Obrigado por todos os ensinamentos, segredos e risadas, vocês foram essenciais para tornar as manhãs e tardes bem melhores.

Agradeço à cervejaria Bacurim, pela oportunidade de aprendizado na indústria. Obrigado pela experiência, suporte e liberdade de poder realizar esse trabalho.

Agradeço à UFERSA e a todos os professores nessa jornada, por todo o conhecimento e experiência, vocês me tornaram uma pessoa melhor e um profissional de qualidade.

Por último, a todos que de alguma maneira contribuíram na minha vida, seja pessoal ou profissional. Muito obrigado.

ÉPIGRAFE

Nós não somos o que gostaríamos de ser.
Nós não somos o que ainda iremos ser.
Mas, graças a Deus,
Não somos mais quem nós éramos.
Martin Luther King Jr.

RESUMO

O controle do pH ao longo do processo cervejeiro é essencial para garantir a qualidade final do produto, influenciando desde a eficiência enzimática na mosturação até a estabilidade microbiológica da cerveja. Este estudo teve como objetivo avaliar e otimizar o ajuste de pH na produção da cerveja Thermas Mossoró, fabricada pela Cervejaria Bacurim, com foco na adição de ácido fosfórico. O método consistiu na análise experimental do pH em diferentes etapas do processo, incluindo mosturação, filtração e fervura, comparando os valores obtidos com os recomendados pela literatura. Os resultados demonstraram que, apesar dos valores sugeridos pela cervejaria para a adição do ácido, quantidades diferentes foram mais adequadas para atingir os valores ideais de pH. Além disso, verificou-se que a variação do volume de água influencia diretamente a necessidade de correção do pH, uma vez que volumes menores apresentam maior sensibilidade a erros de ajuste. Paralelamente, foram analisados os valores de Brix e gravidade específica (SG) ao longo das etapas de produção, sendo observada uma conversão eficiente dos açúcares fermentáveis. O mosto apresentou teor médio de 14,1°Bx (SG 1,057) na mosturação, 5,5°Bx (SG 1,022) na filtração e 10,9°Bx (SG 1,044) na fervura, compatíveis com os padrões esperados para uma American Lager. Dessa forma, conclui-se que o controle de pH deve ser aprimorado para evitar variações que possam impactar a qualidade final da cerveja, garantindo maior estabilidade no processo produtivo e melhor padronização dos parâmetros físico-químicos.

Palavras-chave: controle de pH; cerveja; ácido fosfórico; Brix; gravidade específica.

ABSTRACT

The pH control throughout the brewing process is essential to ensure the final quality of the product, influencing everything from enzymatic efficiency during mashing to the microbiological stability of beer. This study aimed to evaluate and optimize pH adjustment in the production of Thermas Mossoró beer, manufactured by Cervejaria Bacurim, focusing on the addition of phosphoric acid. The method consisted of an experimental analysis of pH at different stages of the process, including mashing, filtration, and boiling, comparing the obtained values with those recommended in the literature. The results showed that, despite the brewery's suggested acid addition values, different amounts were more suitable for achieving optimal pH levels. Additionally, it was found that variations in water volume directly influence the need for pH correction, as smaller volumes are more sensitive to adjustment errors. In parallel, Brix and specific gravity (SG) values were analyzed throughout the production stages, revealing efficient conversion of fermentable sugars. The wort presented an average of 14.1°Bx (SG 1.057) during mashing, 5.5°Bx (SG 1.022) during filtration, and 10.9°Bx (SG 1.044) during boiling, aligning with the expected standards for an American Lager. Thus, it is concluded that pH control should be improved to prevent variations that may impact the final beer quality, ensuring greater process stability and better standardization of physicochemical parameters.

Keywords: pH control; beer; phosphoric acid; Brix; specific gravity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Processo produtivo da cerveja Thermas Mossoró	20
Figura 2	–	Variação do pH da mosturação e fervura em função da adição de H_3PO_4	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Parâmetros de pH e temperatura (°C) da cerveja Thermas Mossoró em três etapas	26
Tabela 2	–	Efeito do aumento de H_3PO_4 no pH da mostura e fervura após a adição de sais	27
Tabela 3	–	Parâmetros de Brix e gravidade específica da cerveja Thermas Mossoró em três etapas	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIB	Produto Interno Bruto
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
pH	Potencial Hidrogeniônico
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CaSO ₄	Sulfato de cálcio
MgSO ₄	Sulfato de magnésio
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
SG	Gravidade Específica
C ₄ H ₆ O ₂	Diacetil ou 2,3-Butanodiona
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₃ COOH	Ácido acético

LISTA DE SÍMBOLOS

©	Copyright
®	Marca registrada
™	Marca comercial
α	Alfa
β	Beta
°Bx	Grau Brix

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	História da cerveja e evolução dos métodos produtivos	16
2.2	Aspectos químicos e bioquímicos da produção de cerveja	17
2.3	O papel do pH na produção da cerveja	17
2.4	Métodos de controle e ajuste do pH na indústria cervejeira	18
2.5	Processo produtivo da cervejaria Bacurim	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Materiais	20
3.2	Preparo da cerveja	20
3.2.1	Moagem.....	20
3.2.2	Mosturação	21
3.2.3	Filtragem e Clarificação	21
3.2.4	Fervura	22
3.2.5	Fermentação e Maturação	22
3.2.6	Envase	23
3.3	Procedimentos analíticos	23
3.3.1	pH.....	23
3.3.2	Brix e gravidade específica (SG)	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1	Medidas de pH	25
4.1.1	Variação de pH ao longo da produção	25
4.1.2	Influência da adição de H ₃ PO ₄ no pH.....	26
4.2	Medidas de Brix e gravidade específica (SG)	28
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A produção de cerveja é uma das atividades mais tradicionais e de grande importância econômica no mundo, movimentando bilhões de dólares anualmente. Em 2023, foi estimado que o setor cervejeiro contribuiu com aproximadamente US\$ 878 bilhões para o PIB global, gerando cerca de 33 milhões de empregos diretos e indiretos, o equivalente a 1 em cada 100 empregos no mundo (OXFORD ECONOMICS, 2025). No Brasil, o setor tem apresentado um crescimento bastante expressivo, impulsionado pelo aumento das cervejarias artesanais e por consumidores em busca de produtos diferenciados e de alta qualidade. Segundo o Anuário da Cerveja 2024, publicado pelo Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA), o país conta com mais de 1800 cervejarias registradas, espalhadas por todas as regiões. Esse crescimento mostra não apenas a expansão da cultura cervejeira, mas também a busca pela diversidade de estilos produzidos e por processos produtivos mais rigorosos (BRASIL, 2024; VENTURINI FILHO, 2010).

A qualidade de uma cerveja está diretamente relacionada ao controle preciso de vários parâmetros físico-químicos ao longo do processo de produção. Entre esses fatores, o pH desempenha um papel fundamental desde o início da produção, influenciando desde a conversão dos amidos durante a mosturação até a estabilidade microbiológica e coloidal do produto final (BRIGGS *et al.*, 2004; KUNZE, 2019). Um valor de pH inadequado pode comprometer a eficiência da fermentação, afetar a solubilização de proteínas e impactar diretamente a percepção sensorial da cerveja, incluindo seu sabor, textura e aparência (MORGAN, 2017; ROSA & AFONSO, 2015).

Durante a mosturação, enzimas como a α -amilase e a β -amilase são responsáveis por quebrar o amido em açúcares fermentáveis. Essas enzimas funcionam melhor em um pH entre 5,2 e 5,6 (DE CLERCK, 1994; HOUGH *et al.*, 1971). Valores de pH fora dessa faixa podem reduzir a conversão enzimática, diminuindo o rendimento de açúcares fermentáveis e alterando o perfil sensorial da cerveja. Além disso, o pH também afeta a viabilidade das leveduras durante a fermentação: níveis inadequados podem comprometer a taxa de crescimento celular, prolongar o tempo de fermentação e aumentar o risco de contaminação microbiológica (SANTOS, LIMA & TEIXEIRA, 2022; WALKER & STEWART, 2016).

Na Cervejaria Bacurim, o ajuste de pH é feito exclusivamente com ácido orto-fosfórico (85% P.A.) (H_3PO_4), sem o uso de agentes alcalinizantes para eventuais correções. Além disso, a medição e adição de sais (CaCl_2 , CaSO_4 e MgSO_4) são realizadas em uma balança de precisão inadequada, podendo gerar variações no ajuste do pH e impactar na composição química do mosto. Tais limitações operacionais podem comprometer a padronização do processo produtivo

e, conseqüentemente, a qualidade sensorial e a estabilidade da cerveja produzida (ESSLINGER & NARZISS, 2009).

Diante desse contexto, este relatório de estágio tem como objetivo avaliar e propor melhorias no controle de pH no processo produtivo da Cervejaria Bacurim, a partir de um dos tipos de cerveja fabricados pela empresa, buscando aprimorar a qualidade do produto final e a eficiência operacional da empresa. Espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para melhorias futuras, beneficiando não apenas a Cervejaria Bacurim, mas também o desenvolvimento técnico do setor cervejeiro artesanal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 História da cerveja e evolução dos métodos produtivos

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais antigas da humanidade, com evidências arqueológicas sugerindo sua produção há mais de 7.000 anos na Mesopotâmia e no Egito Antigo (HORNSEY, 2003). Os sumérios, por exemplo, já produziam cervejas rudimentares a partir de cereais maltados e água, criando diferentes perfis sensoriais de acordo com as características da água utilizada. Na Europa medieval, os monges aprimoraram as técnicas de produção, incluindo o uso do lúpulo como conservante e aromatizante, um marco importante na evolução da cerveja moderna (MOSHER, 2017).

No século XIX, a Revolução Industrial trouxe avanços tecnológicos que impactaram significativamente a produção cervejeira. A pasteurização, desenvolvida por Louis Pasteur, foi um dos principais marcos desse período. Embora Pasteur tenha documentado suas descobertas sobre a fermentação em *Études sur la Bière* (1876), estudos recentes reforçam a relevância de suas contribuições e expandem o entendimento sobre os efeitos do pH na fermentação e estabilidade microbiológica da cerveja (HIGGINS & GUSTAFSON, 2007; CASEY *et al.*, 2018). Além disso, pesquisas modernas sobre fermentação ressaltam a importância de parâmetros como pH e temperatura para a obtenção de produtos com maior estabilidade e qualidade (MARTIN *et al.*, 2021).

Atualmente, a indústria cervejeira é altamente regulada, seguindo diretrizes nacionais e internacionais para garantir qualidade e segurança alimentar. No Brasil, o MAPA estabelece padrões físico-químicos para a produção de cervejas, incluindo limites aceitáveis de pH durante o processo produtivo (BRASIL, 2024). Além disso, o uso de técnicas avançadas, como a bioacidificação e monitoramento contínuo do pH, tem sido adotado para garantir maior padronização e qualidade do produto final (ALMAGUER *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2018).

2.2 Aspectos químicos e bioquímicos da produção de cerveja

A produção de cerveja envolve uma série de reações químicas complexas que ocorrem ao longo de diferentes etapas do processo. A mosturação, por exemplo, é um estágio crítico no qual as enzimas atuam na conversão do amido em açúcares fermentáveis. A α -amilase e a β -amilase são as principais enzimas envolvidas nesse processo, sendo que a primeira atua na quebra de ligações internas do amido, enquanto a segunda atua nas extremidades da molécula, liberando açúcares menores, como maltose e glicose (BRIGGS *et al.*, 2004; DE CLERCK, 1994). A conversão do amido em açúcares fermentáveis depende diretamente do pH do meio, sendo que valores entre 5,2 e 5,5 garantem a máxima eficiência enzimática (BRIGGS *et al.*, 2004; LEE *et al.*, 2021). Fora dessa faixa, pode ocorrer a desnaturação parcial das enzimas α -amilase e β -amilase, reduzindo a disponibilidade de açúcares fermentáveis e afetando a fermentação e o perfil sensorial final da cerveja (VIDGREN, LAHTENMAKI & KROGERUS, 2010).

Além disso, a composição mineral da água utilizada na produção tem um papel crucial na manutenção da estabilidade do pH. Íons como cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) ajudam a tamponar o pH do mosto, proporcionando condições ideais para a ação enzimática e a estabilidade da espuma da cerveja (MALFERTHEINER *et al.*, 2020; MORAIS, 2015). A presença de sulfatos (SO_4^{2-}) intensifica a percepção de amargor, enquanto os cloretos (Cl^-) conferem sensação de dulçor e corpo à bebida (HOUGH *et al.*, 1971). Estudos indicam que o equilíbrio entre esses íons pode impactar significativamente o sabor e a qualidade sensorial do produto final (CARVALHO *et al.*, 2018).

Outro fator relevante no processo de produção é a degradação de proteínas e compostos fenólicos, que impactam diretamente a estabilidade coloidal da cerveja. Durante a fervura, proteínas de alto peso molecular se ligam a polifenóis presentes no malte e no lúpulo, formando complexos que podem afetar a turbidez da bebida (KUNZE, 2019). A regulação do pH durante essa etapa é essencial para minimizar a formação excessiva desses complexos e garantir uma melhor clarificação do mosto (MARTIN *et al.*, 2021).

2.3 O papel do pH na produção da cerveja

O controle do pH é essencial em todas as etapas do processo cervejeiro, desde a mosturação até o envase do produto final. Durante a mosturação, um pH entre 5,2 e 5,5 é ideal para maximizar a atividade das enzimas α -amilase e β -amilase, garantindo uma conversão eficiente do amido em açúcares fermentáveis (BRIGGS *et al.*, 2004; DE CLERCK, 1994). Fora dessa faixa, a conversão enzimática pode ser prejudicada, reduzindo o rendimento da

fermentação e impactando diretamente o perfil sensorial da cerveja (MORGAN, 2017; PAPAIZIAN, 2014).

Durante a fermentação, o pH exerce um papel fundamental na viabilidade e na atividade metabólica das leveduras. Valores de pH abaixo de 4,0 podem reduzir a taxa de crescimento celular e inibir a atividade enzimática, prejudicando a conversão de açúcares em álcool (WALKER & STEWART, 2016; WHITE & ZAINASHEFF, 2010). Além disso, o pH influencia a produção de compostos aromáticos, como ésteres e álcoois superiores, que contribuem para a complexidade sensorial da cerveja (MARTIN *et al.*, 2021). Estudos indicam que um pH inadequado pode favorecer a formação de compostos indesejáveis, como diacetil ($C_4H_6O_2$) e ácido acético (CH_3COOH), resultando em sabores desagradáveis e comprometendo a qualidade final da bebida (CASEY *et al.*, 2018; VIDGREN, LAHTEENMAKI & KROGERUS, 2010).

Na fase de maturação e envase, a regulação do pH é crucial para garantir a estabilidade microbiológica da cerveja. Valores inadequados podem acelerar reações oxidativas, comprometendo a estabilidade do aroma e da cor do produto final (CARVALHO *et al.*, 2018; MORAIS, 2015). Além disso, a relação entre pH e estabilidade coloidal deve ser considerada, pois valores de pH inadequado pode favorecer a precipitação de proteínas e polifenóis, causando turbidez na cerveja (MALFERTHEINER *et al.*, 2020). O ajuste correto do pH pode prolongar a vida útil da cerveja e minimizar a formação de compostos indesejáveis, sendo um fator crítico na qualidade final do produto (LEE *et al.*, 2021).

2.4 Métodos de controle e ajuste do pH na indústria cervejeira

O controle do pH na produção de cerveja pode ser realizado por meio de ajustes na composição mineral da água, na escolha das matérias-primas e na adição de ácidos e bases durante o processo produtivo. O monitoramento do pH pode ser feito por técnicas analíticas modernas, como eletrodos potenciométricos e espectrofotometria, garantindo medições precisas e permitindo ajustes em tempo real (MALFERTHEINER *et al.*, 2020; WHITE & ZAINASHEFF, 2010).

A correção do pH pode ser realizada por meio da adição controlada de ácidos, como ácido fosfórico e ácido láctico, amplamente utilizados na indústria cervejeira por sua eficácia na redução do pH sem afetar significativamente o perfil sensorial do produto (SANTOS, LIMA & TEIXEIRA, 2022; KUNZE, 2019). Por outro lado, a elevação do pH pode ser feita com a adição de sais alcalinos, como carbonato de cálcio e bicarbonato de sódio, que ajudam a tamponar o

pH e garantir um ambiente adequado para a atividade enzimática e fermentativa (CARVALHO *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2021).

Estudos recentes demonstram que a utilização de sistemas automatizados de controle de pH pode otimizar a produção e reduzir a variabilidade entre os lotes, garantindo maior padronização do produto final (LEE *et al.*, 2021). Além disso, o uso de técnicas avançadas de fermentação, como a bioacidificação controlada por culturas de bactérias lácticas, tem sido explorado como uma alternativa para o ajuste natural do pH em cervejas especiais, proporcionando novos perfis sensoriais e melhor estabilidade microbiológica (MARTIN *et al.*, 2021).

2.5 Processo produtivo da cervejaria Bacurim

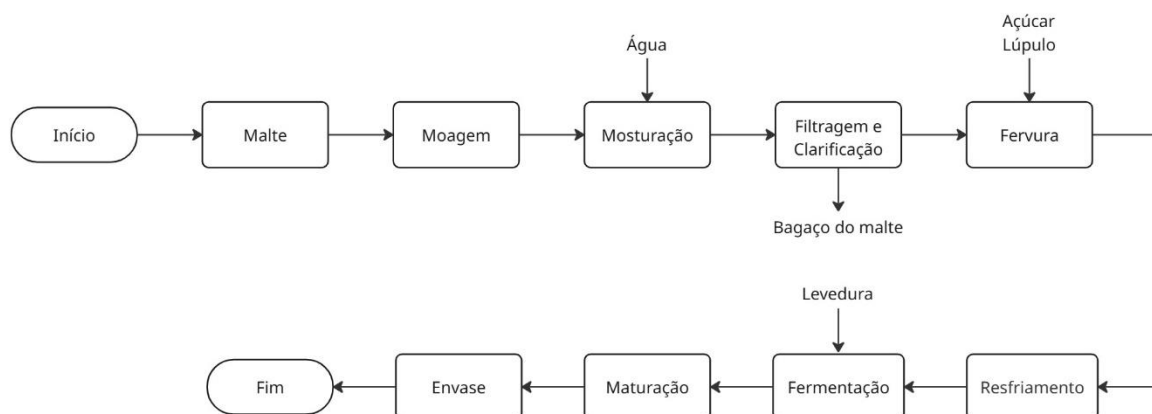
A produção da cerveja Thermas Mossoró na Cervejaria Bacurim segue um processo bem estruturado, que envolve etapas fundamentais para garantir a qualidade do produto final. O processo inicia-se com a seleção e moagem dos grãos de malte, seguida pela mosturação, onde ocorre a conversão do amido em açúcares fermentáveis por meio da ação enzimática. Após essa etapa, o mosto é filtrado para a separação dos resíduos sólidos e, posteriormente, fervido, momento em que são adicionados os lúpulos para conferir amargor e aroma à cerveja.

Após a fervura, o mosto passa por um resfriamento rápido e é transferido para os tanques de fermentação. Nesta fase, a levedura *Saccharomyces pastorianus* é inoculada, permitindo a conversão dos açúcares fermentáveis em álcool e gás carbônico (CO₂). A fermentação ocorre sob controle rigoroso de temperatura para garantir o perfil sensorial desejado. Ao término da fermentação, a cerveja é maturada a temperaturas próximas a 0°C, permitindo a estabilização de compostos aromáticos e melhorando sua claridade e estabilidade microbiológica (KUNZE, 2019; BRIGGS *et al.*, 2004).

O envase é realizado tanto em garrafas quanto em barris, seguindo um rigoroso controle de qualidade para evitar contaminações e garantir a estabilidade do produto. A pasteurização é utilizada para prolongar a vida útil da cerveja, assegurando que o produto final mantenha suas características desejadas até o consumo (MEILGAARD *et al.*, 2016).

A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado do processo produtivo da cerveja Thermas Mossoró, detalhando as principais etapas desde a moagem até o envase.

Figura 1. Processo produtivo da cerveja Thermas Mossoró



Fonte: Elaboração própria.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram os seguintes: água, malte Swaen[®] Pilsner (EBC: 3,0 – 4,5, pH: 5,9 – 6,1, The Swaen – Países Baixos), malte Swaen[®] Melany (EBC: 60 – 80, pH: 5,5 – 5,8, The Swaen – Países Baixos), lúpulo El Dorado[®] (alfa: 13,5 %, óleo: 2,2 mL/100 g, safra 2022 US, BarthHaas – Alemanha), levedura SafLager[™] S-189 (% peso seco: 94,0 – 96,5, células viáveis: $> 6 \times 10^9$ /g, Fermentis by Lesaffre – França), açúcar (classe: cristal branco, tipo: cristal, Sublime – Brasil), ácido fosfórico 85% (QuimisulSC – Brasil), sulfato de cálcio dihidratado P.A. (P.M.: 172,17, Cromoline – Brasil), cloreto de cálcio dihidratado P.A./ACS (P.M.: 147,01, Neon – Brasil), sulfato de magnésio P.A./ACS (P.M.: 246,48, Nox Lab Solutions – Brasil).

3.2 Preparo da cerveja

Os cálculos para a quantidade de ingredientes foram previamente realizados pelo mestre cervejeiro da Bacurim para a cerveja Thermas Mossoró, do tipo American Lager.

3.2.1 Moagem

A moagem dos grãos de malte foi realizada em moedor de rolos com o objetivo de expor o amido presente nos grãos, permitindo sua conversão em açúcares fermentáveis durante a mosturação (BRIGGS *et al.*, 2004; GUINARD & CLARK, 2017). Estudos indicam que a granulometria inadequada pode comprometer a eficiência da mosturação e dificultar a filtração do mosto (ZHAO *et al.*, 2021).

3.2.2 Mosturação

A mosturação foi realizada em uma panela com temperatura controlada, seguindo um perfil de rampa de temperatura para otimizar a atividade enzimática e garantir a conversão eficiente do amido em açúcares fermentáveis. Durante essa etapa, diferentes fases de temperatura foram aplicadas para maximizar o aproveitamento das enzimas presentes no malte (BRIGGS *et al.*, 2004).

3.2.2.1 Fase de repouso proteico (45 – 50 °C)

Promove a degradação de proteínas, reduzindo a turbidez e melhorando a estabilidade da espuma (MALFERTHEINER *et al.*, 2020; HELLER *et al.*, 2019).

3.2.2.2 Fase de β -amilase (62 – 65 °C)

Maximiza a conversão de amido em açúcares fermentáveis, como maltose (BRIGGS *et al.*, 2004; SMITH, ADAMS & WILSON, 2023).

3.2.2.3 Fase de α -amilase (70 – 72 °C)

Promove a quebra de dextrinas, gerando açúcares menos fermentáveis e contribuindo para o corpo da cerveja (LEE *et al.*, 2021; MENEZES *et al.*, 2022).

3.2.2.4 Mash-out (78°C)

Inativa as enzimas e melhora a filtrabilidade do mosto (SANTOS, LIMA & TEIXEIRA, 2022).

3.2.3 Filtragem e Clarificação

Após a mosturação, o mosto foi transferido para um tanque de filtragem. A recirculação inicial do mosto compactou o bagaço de malte, formando um leito filtrante natural que aprimorou a separação e clarificação do líquido (KUNZE, 2019). A fração sólida foi separada e destinada para criadores locais reaproveitarem como complemento na alimentação de animais, enquanto o mosto clarificado seguiu para a fervura. Fatores como granulometria da moagem, taxa de filtração e estabilidade do pH influenciam a eficiência dessa etapa, sendo essencial evitar a extração excessiva de polifenóis e taninos para garantir um produto final de qualidade (MALFERTHEINER *et al.*, 2020; LEE *et al.*, 2021).

3.2.4 Fervura

O mosto filtrado foi fervido por 60 minutos, garantindo a esterilização e promovendo reações químicas essenciais, como a isomerização dos ácidos alfa do lúpulo, que contribuem para o amargor da cerveja (MOSHER, 2017). Após essa etapa, o mosto passou pelo *whirlpool*, um processo de sedimentação das partículas sólidas, como restos de lúpulo e proteínas coaguladas, melhorando sua clarificação antes do resfriamento e fermentação (BRIGGS *et al.*, 2004; CARVALHO *et al.*, 2018). Esse processo garantiu maior estabilidade coloidal e sensorial à cerveja (LEE *et al.*, 2021).

3.2.5 Fermentação e Maturação

Após a fervura, o mosto foi resfriado e transferido para um tanque de fermentação sanitizado. A levedura *Saccharomyces pastorianus* (SafLager™ S-189) foi inoculada na parte superior do tanque, permitindo a conversão dos açúcares fermentáveis em etanol e CO₂, processo essencial para o desenvolvimento dos compostos aromáticos e do perfil sensorial da cerveja (WALKER & STEWART, 2016; KROGERUS & ARJAS, 2018).

Durante a fermentação, apenas a temperatura foi monitorada periodicamente, garantindo que permanecesse dentro da faixa ideal para a levedura utilizada. A manutenção dessa condição foi essencial para uma fermentação eficiente e para evitar a formação de compostos indesejáveis, como álcoois superiores e diacetil (C₄H₆O₂) (MARTIN *et al.*, 2021). Não foram realizadas medições de pH ou densidade durante essa etapa, e a conversão dos açúcares ocorreu de forma natural ao longo do processo fermentativo (BRIGGS *et al.*, 2004).

Finalizada a fermentação, a cerveja foi resfriada gradualmente para temperaturas entre 0 e 2°C, promovendo a decantação de partículas sólidas remanescentes, como *trub* e resíduos de lúpulo. Esse resfriamento lento auxilia na clarificação do mosto e na remoção de compostos que poderiam comprometer a estabilidade coloidal da cerveja (KUNZE, 2019). A maturação foi conduzida por um período de 8 dias para a estabilização dos compostos aromáticos e para a obtenção do perfil sensorial desejado para uma American Lager (BRIGGS *et al.*, 2004; ROSA & AFONSO, 2015).

Durante essa etapa, ocorreu a sedimentação da maior parte da levedura, enquanto uma fração residual permaneceu ativa, promovendo uma fermentação secundária. Esse processo foi essencial para a conversão de subprodutos da fermentação, como o acetaldeído em etanol e a redução de dicetonas vicinais, como o diacetil (C₄H₆O₂), melhorando o perfil sensorial da cerveja (ROSA & AFONSO, 2015). Além disso, a maturação permitiu a redução de compostos

sulfurados, prevenindo a presença de aromas indesejáveis no produto final. O tempo adequado de maturação também influenciou diretamente a retenção de espuma e a sensação de corpo da cerveja, garantindo maior qualidade e estabilidade ao produto final (KUNZE, 2019).

3.2.6 Envase

O envase da cerveja poderia ser realizado em garrafas de 355 mL e 600 mL, bem como em barris de 30 L e 50 L. Antes do envase, as embalagens passaram por um rigoroso processo de higienização para garantir a qualidade microbiológica do produto final (BRIGGS *et al.*, 2004; KUNZE, 2019).

Para o envase em garrafas, as unidades foram higienizadas em um sistema de rinse, assegurando a remoção de resíduos e contaminantes. A cerveja foi então transferida do tanque para uma enchedora manual de dois bicos (Mec Bier – Brasil), onde as garrafas foram preenchidas sob um fluxo controlado para minimizar a formação de espuma e evitar a incorporação excessiva de oxigênio, fator que pode comprometer a estabilidade sensorial da bebida (MOLINA, PÉREZ & GARCÍA, 2020). Após o enchimento, as garrafas foram seladas com tampas metálicas utilizando um arrolhador manual (Mec Bier – Brasil) e, posteriormente, passaram por um processo de pasteurização para estabilização microbiológica antes da rotulagem (MOSHER, 2017).

O envase em barris de 30 L e 50 L seguiu um procedimento distinto. Os barris previamente higienizados foram pressurizados antes do enchimento para minimizar a perda de carbonatação e evitar a entrada de oxigênio. A transferência da cerveja do tanque para o barril ocorreu por diferença de pressão, onde a pressão do tanque era maior do que a do barril, permitindo o fluxo da bebida sem necessidade de bombeamento mecânico (BRIGGS *et al.*, 2004). Durante o enchimento, a saída de gás do barril permaneceu aberta para garantir um fluxo contínuo e evitar turbulências que poderiam impactar a qualidade do produto final (KROGERUS & GIBSON, 2020).

3.3 Procedimentos analíticos

3.3.1 pH

Inicialmente, o pH da água filtrada utilizada na produção foi medido usando um pHmetro de bancada digital (PHB-550, Incoterm – Brasil), previamente calibrado, antes da adição de sais minerais, pois a composição da água afeta diretamente o equilíbrio ácido-base do mosto e, conseqüentemente, o desempenho das enzimas na mosturação (LEE *et al.*, 2021). Após essa primeira medição, a água foi transferida para as painéis de mostura e fervura, onde

foram adicionados os sais de cálcio (CaCl_2 e CaSO_4) e magnésio (MgSO_4), previamente calculados, para ajustar a dureza da água e melhorar a atividade enzimática durante a conversão do amido (DE CLERCK, 1994; MALFERTHEINER *et al.*, 2020). A adição desses sais contribuiu para a redução do pH inicial da água, pois a preparou para receber ajustes mais precisos com ácido fosfórico.

Como o pH ainda não havia atingido a faixa ideal para o processo cervejeiro, foi adicionado gradualmente ácido fosfórico 85% (H_3PO_4), um dos ácidos mais utilizados na indústria cervejeira por sua eficiência no ajuste de pH sem causar impactos sensoriais significativos (MOSHER, 2017; SANTOS, LIMA & TEIXEIRA, 2022). Esse processo exigiu cautela, pois a ausência de agentes alcalinizantes impedia correções caso ocorresse um excesso na acidificação. Apesar de existirem valores recomendados para a quantidade de H_3PO_4 a ser adicionada, testes experimentais foram realizados no intuito de verificar se os ajustes teóricos eram adequados à composição específica da água utilizada no lote de produção (WALKER & STEWART, 2016).

Durante todo o processo de produção, foram coletadas amostras para análise do pH em diferentes etapas: mosturação, filtragem e fervura. Essas medições foram comparadas com os valores recomendados pela literatura para cada fase do processo, garantindo que o pH permanecia dentro dos parâmetros adequados para otimizar a conversão enzimática, a fermentação e a estabilidade coloidal da cerveja (MARTIN *et al.*, 2021; HELLAWELL *et al.*, 2020). Caso o pH estivesse fora do intervalo esperado, ajustes poderiam ser necessários para evitar impactos negativos na qualidade do produto final (CARVALHO *et al.*, 2018).

3.3.2 Brix e gravidade específica (SG)

Com as mesmas amostras colhidas durante as etapas de mostura, filtragem e fervura, foram realizadas medições de Brix e gravidade específica utilizando um refratômetro analógico, previamente calibrado com água destilada para garantir a precisão das leituras. Para cada medição, uma pequena amostra de cada etapa foi coletada com o auxílio de uma pipeta, depositada sobre o prisma do refratômetro e a tampa foi fechada para permitir a dispersão uniforme do líquido sobre a superfície óptica do equipamento.

A leitura foi realizada observando a interseção da linha azul com as escalas de Brix e SG wort, localizadas nas laterais do visor do refratômetro. Esses valores permitiam avaliar a concentração de açúcares dissolvidos no mosto, sendo um indicador crucial para a eficiência da conversão do amido em açúcares fermentáveis durante a mosturação e para o monitoramento do processo de fervura (BRIGGS *et al.*, 2004; MEILGAARD *et al.*, 2016).

Entretanto, verificou-se que as amostras analisadas estavam em temperatura ambiente (30 – 35 °C), enquanto o refratômetro era ajustado para 20 °C, conforme indicado na escala do visor. Como o índice de refração dos líquidos varia com a temperatura, essa diferença pode ter causado imprecisões nas medições, tornando necessário o uso de tabelas de correção ou um refratômetro com compensação térmica automática para garantir maior exatidão nos resultados (MIRANDA *et al.*, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Medidas de pH

4.1.1 Variação de pH ao longo da produção

A Tabela 1 mostra a variação dos valores de pH e temperatura para as etapas de mostura, filtragem e fervura obtidos ao longo dos dias de produção.

Essas medições de pH realizadas revelaram variações durante as etapas de mosturação, filtragem e fervura. Na mosturação, os valores ficaram dentro da faixa recomendada pela literatura (5,2 – 5,6), garantindo uma conversão eficiente do amido em açúcares fermentáveis.

Na filtragem, o pH variou de 5,32 a 5,83. Esse fenômeno é esperado devido à extração residual de compostos do malte, como taninos e proteínas de alto peso molecular. Valores superiores a 5,8, como observado em uma das produções, pode indicar risco de extração excessiva de polifenóis, o que pode impactar a estabilidade coloidal e gerar sabores indesejáveis, como adstringência e turbidez prematura (PALMER, 2017).

Na fervura, o pH variou de 5,26 a 5,73. Essa redução do pH ocorre devido à precipitação de proteínas e à solubilização de ácidos do lúpulo. Um pH levemente mais baixo durante essa etapa favorece a coagulação proteica, melhorando a clarificação do mosto e contribuindo para a estabilidade coloidal da cerveja final (MALFERTHEINER *et al.*, 2020). Valores muito abaixo de 5,0 podem prejudicar a isomerização dos alfa-ácidos, reduzindo a eficiência da lupulagem e impactando o amargor da cerveja (MIRANDA *et al.*, 2019).

Os dados também indicam que não houve uma correlação significativa entre pH e temperatura, pois os valores de pH se mantiveram relativamente estáveis, mesmo com variações de temperatura entre 30 °C e 37 °C. Segundo Hellawell *et al.* (2020), em sistemas com boa capacidade tampão, pequenas oscilações térmicas não impactam significativamente o pH do meio. Isso sugere que o sistema de ajuste ácido da cervejaria foi eficiente em manter a estabilidade do pH, mesmo com variações operacionais.

Tabela 1. Parâmetros de pH e temperatura (°C) da cerveja Thermas Mossoró em três etapas.

Produção	Mostura		Filtragem		Fervura	
	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)
07/01	5,58	34,2	5,75	34,2	5,55	37,3
08/01	5,50	32,8	5,59	32,6	5,44	37,1
14/01	5,51	30,7	5,69	31,1	5,48	34,9
15/01	5,52	31,7	5,67	31,9	5,49	34,4
04/02	5,34	33,6	5,32	33,3	5,26	33,4
05/02	5,38	30,9	5,54	31,1	5,36	35,4
12/02	5,68	31,5	5,36	35,0	5,73	35,3
13/02	5,68	32,9	5,83	32,8	5,65	32,9
Média	5,52±0,12	32,3±1,3	5,59±0,18	32,8±1,4	5,50±0,15	35,1±1,6

Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 Influência da adição de H₃PO₄ no pH

Os resultados da adição de ácido fosfórico 85% (H₃PO₄) ao longo do processo de mosturação e fervura são apresentados na Tabela 2. O pH inicial da mostura com os sais (7,88) estava fora da faixa ideal recomendada (5,2 – 5,6) para a atividade eficiente das enzimas α -amilase e β -amilase. A adição progressiva de H₃PO₄ resultou na redução do pH da mostura, atingindo valores próximos do intervalo desejado entre 45 e 50 mL de ácido adicionado, nos quais foram observados pH de 5,66 e 5,33, respectivamente.

A cervejaria Bacurim recomenda a adição de 65 mL de H₃PO₄ para a mostura e 45 mL para a fervura na produção da cerveja Thermas Mossoró. No entanto, os experimentos realizados demonstram que a quantidade recomendada para a mostura e fervura não estavam corretos para atingir o pH ideal. A literatura indica que o pH da fervura deve estar entre 5,0 e 5,2 para otimizar a coagulação das proteínas e reduzir a extração de polifenóis do lúpulo, que podem conferir adstringência indesejada à cerveja. Observou-se que foi necessário um acréscimo de 10 – 15 mL de H₃PO₄ além dos 45 mL recomendados, chegando a 55 – 60 mL para atingir valores adequados de pH. Isso evidencia que os parâmetros definidos pela cervejaria podem necessitar de ajustes para garantir maior precisão no controle de pH durante a fervura.

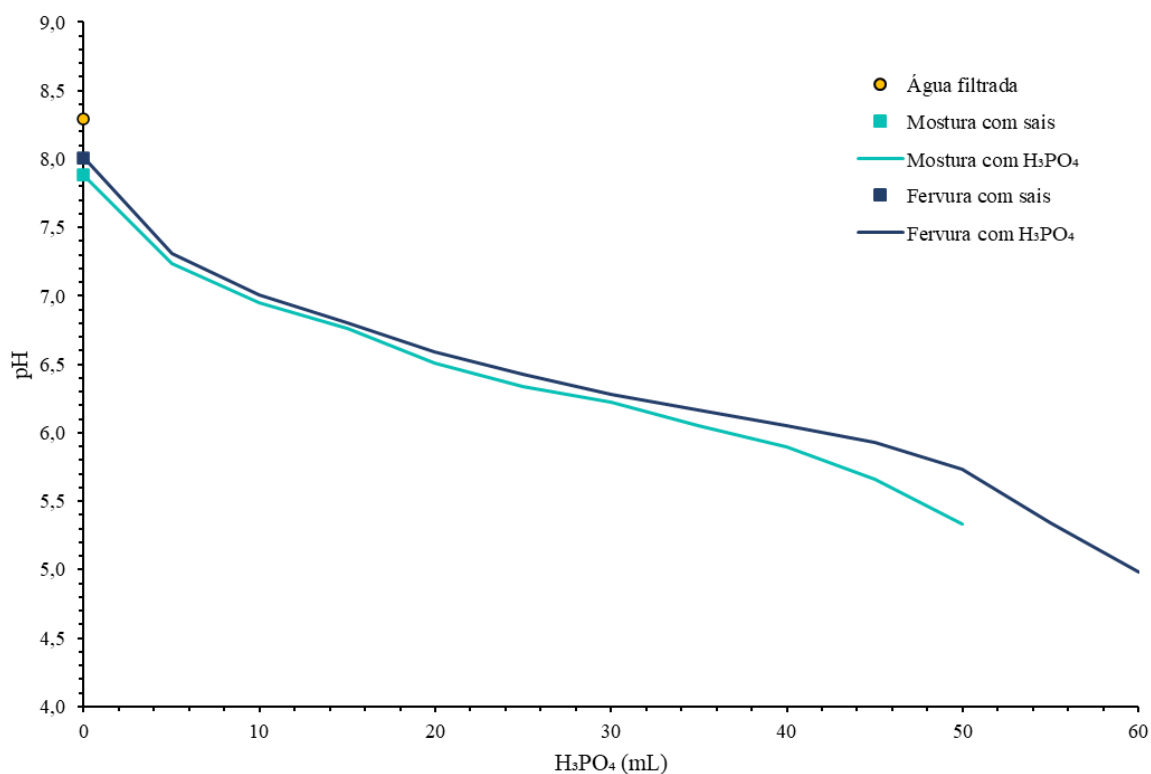
Tabela 2. Efeito do aumento de H_3PO_4 no pH da mostura e fervura após a adição de sais.

H_3PO_4 (mL)	$\text{pH}_{\text{MOSTURA}}$	T_{MOSTURA} (°C)	$\text{pH}_{\text{FERVURA}}$	T_{FERVURA} (°C)
0	7,88	29,2	8,01	28,9
5	7,24	29,1	7,31	29,0
10	6,95	28,9	7,01	29,0
15	6,76	28,9	6,80	29,0
20	6,51	29,0	6,59	29,0
25	6,34	29,0	6,43	29,0
30	6,22	29,1	6,28	28,8
35	6,05	29,0	6,17	28,9
40	5,90	29,0	6,05	29,0
45	5,66	29,3	5,93	29,0
50	5,33	29,2	5,73	29,1
55	-	-	5,34	29,1
60	-	-	4,98	29,0

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 mostra a relação entre a adição progressiva de H_3PO_4 e a variação do pH nas etapas de mosturação e fervura. Percebe-se uma tendência de redução exponencial do pH à medida que o volume de ácido adicionado aumenta. Inicialmente, pequenas quantidades de H_3PO_4 (até 10 mL) promovem quedas um pouco mais acentuadas no pH, refletindo a baixa capacidade tampão inicial do meio. No entanto, a partir de 30 mL, observa-se uma estabilização na taxa de redução, indicando que o sistema passa a apresentar maior resistência às alterações de pH devido ao efeito tampão dos compostos dissolvidos no mosto.

Figura 2. Variação do pH da mosturação e fervura em função da adição de H_3PO_4 (Autoria própria).



Fonte: Elaboração própria.

Outro fator relevante é o volume de água nas panelas de mostura e fervura. No caso da cerveja Thermas Mossoró (American Lager), utilizou-se 330 L na mostura e 350 L na fervura, e para outros tipos de cerveja, a quantidade de água varia conforme o tipo e a quantidade de cerveja a ser produzida. Isso sugere que a necessidade de ajuste do pH está diretamente relacionada ao volume do líquido processado e à composição química específica de cada tipo de cerveja. Contudo, os resultados experimentais indicam que a proporção de H_3PO_4 pode não ser linearmente escalável entre diferentes volumes, sendo necessário um monitoramento mais rigoroso para ajustes mais precisos.

4.2 Medidas de Brix e gravidade específica (SG)

A Tabela 3 mostra os valores de Brix e gravidade específica para as etapas de mostura, filtragem e fervura obtidos experimentalmente durante o estudo.

Os valores médios de Brix e SG obtidos nas etapas de mosturação, filtragem e fervura foram comparadas com dados da literatura para o estilo American Lager, para avaliar a eficiência da conversão do amido em açúcares fermentáveis e a concentração do extrato do

mosto. Durante a mosturação, o mosto apresentou um teor de sólidos solúveis médio de 14,1°Bx (SG 1,057), valor que se encontra levemente acima do intervalo descrito por Kunze (2019) e Briggs *et al.* (2004) para esse estilo. Após a filtragem, houve uma redução significativa para 5,5°Bx (SG 1,022), compatível com os padrões da literatura para mostos clarificados. Na fervura, o mosto concentrou-se, atingindo 10,9°Bx (SG 1,044), dentro dos parâmetros aceitáveis para uma American Lager (FIX, 1999). Esses resultados indicam que o processo de extração e concentração dos açúcares foi eficiente e adequado ao estilo desejado, garantindo a qualidade do produto.

Tabela 3. Parâmetros de Brix e gravidade específica da cerveja Thermas Mossoró em três etapas.

Produção	Mostura		Filtragem		Fervura	
	Brix (%)	SG (20°C)	Brix (%)	SG (20°C)	Brix (%)	SG (20°C)
07/01	13,8	1,056	5,4	1,021	11,2	1,045
08/01	14,7	1,060	5,8	1,023	11,4	1,046
14/01	13,8	1,056	4,8	1,019	11,2	1,045
15/01	14,0	1,057	5,4	1,021	11,4	1,046
04/02	13,4	1,054	6,0	1,024	10,8	1,044
05/02	13,8	1,056	5,6	1,022	10,2	1,041
12/02	15,0	1,061	5,4	1,021	10,8	1,043
13/02	14,0	1,057	5,4	1,021	10,4	1,042
Média	14,1±0,53	1,057±0,00	5,5±0,35	1,022±0,00	10,9±0,45	1,044±0,00

Fonte: Elaboração própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que os valores recomendados pela cervejaria Bacurim, de ácido fosfórico, para a cerveja Thermas Mossoró, uma American Lager, servem como base, mas não são ideais para atingir os valores de pH adequados para a mostura e fervura, sendo necessário um ajuste em ambas para alcançar o intervalo recomendado (5,2 – 5,6 para a mostura e 5,0 – 5,2 para a fervura). Além disso, observou-se que quanto maior o volume de água, maior será a quantidade de H₃PO₄ necessária para reduzir o pH de forma eficiente. No entanto, em volumes menores, a adição do ácido precisa ser realizada com maior precisão, pois pequenas variações podem causar desvios significativos no pH final. Isso destaca a necessidade de um

controle rigoroso, especialmente em produções de menor escala, onde ajustes imprecisos podem comprometer a estabilidade enzimática e a qualidade da fermentação.

Apesar de algumas medições de pH estarem um pouco acima do esperado, a conversão de amido em açúcares fermentáveis ocorreu de maneira eficiente, conforme demonstrado pelos valores de Brix e SG. Isso sugere que o sistema tampão do mosto foi capaz de minimizar os efeitos das variações de pH sobre a atividade enzimática, garantindo a extração adequada de açúcares e a qualidade final do produto.

Recomenda-se a reavaliação dos parâmetros de ajuste de H_3PO_4 , bem como a implementação de um controle mais rigoroso do pH ao longo do processo, a fim de garantir maior padronização e estabilidade do produto. Estudos futuros podem explorar o uso de sensores automatizados e a influência da composição da água na estabilidade do mosto e na fermentação, aprimorando ainda mais a eficiência do controle de pH na produção cervejeira.

REFERÊNCIAS

- ALMAGUER, C.; HOFMANN, T.; ARGYROPOULOS, D.; BERGER, R. G.; MEILGAARD, M. C. **Hops and beer bitterness: Chemistry, biochemistry and analysis.** Food Chemistry, v. 157, p. 399-407, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da Cerveja 2024.** Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2024. 56 p.
- BRIGGS, D. E. et al. **Brewing: Science and Practice.** Boca Raton: Woodhead Publishing, 2004. 881 p.
- CARVALHO, A. C. P. et al. **Fermentação cervejeira: desafios e inovações na indústria.** Brazilian Journal of Food Technology, v. 21, p. 1-14, 2018.
- CASEY, G. P.; INNIS, M. A.; ANDERSON, M. J. **Control of Beer Quality through Fermentation Management.** Journal of the American Society of Brewing Chemists, v. 76, n. 3, p. 220-231, 2018.
- DE CLERCK, J. **A textbook of brewing.** Vol. 1 e 2. London: Chapman & Hall, 1994.
- ESSLINGER, H. M.; NARZISS, L. **Handbook of brewing: Processes, technology, markets.** Weinheim: Wiley-VCH, 2009.
- FIX, G. **Principles of Brewing Science: A Study of Serious Brewing Issues.** Boulder: Brewers Publications, 1999.
- GUINARD, J. X.; CLARK, K. A. **Bitterness perception in beer.** Journal of the Institute of Brewing, v. 123, p. 87-92, 2017.
- HELLAWELL, J.; FOX, J.; HIGGINS, K. **Impact of temperature on wort pH stability and fermentation performance.** Brewing Science, v. 73, p. 142-150, 2020.
- HELLER, H. G.; LUBBERS, T.; KOCH, J. **Protein degradation during mashing and its impact on beer quality.** Journal of the Institute of Brewing, v. 125, p. 89-96, 2019.
- HIGGINS, K.; GUSTAFSON, J. **Fermentation dynamics and pH control in brewing.** Journal of Brewing Science, v. 54, p. 23-38, 2007.
- HOUGH, J. S. et al. **Malting and Brewing Science: Volume 1 – Malt and Sweet Wort.** 2. ed. New York: Springer Science & Business Media, 1971.
- HORNSEY, I. S. **A history of beer and brewing.** Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2003.
- KROGERUS, K.; ARJAS, M. **Impact of Fermentation Temperature on Lager Beer Flavor.** Journal of Brewing & Distilling, v. 94, n. 5, p. 355-370, 2018.

KROGERUS, K.; GIBSON, B. **Influence of fermentation parameters on yeast metabolism and beer flavor**. *Brewing Science*, v. 55, p. 129-144, 2020.

KUNZE, W. **Technology Brewing and Malting**. 6. ed. Berlin: VLB Berlin, 2019. 960 p.

LEE, C. et al. **pH management in brewing: optimization of enzymatic reactions and yeast performance**. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, p. 1973-1984, 2021.

MALFERTHEINER, M.; SCHMIDT, S.; LANG, T. **Buffering capacity of brewing water and its impact on wort pH**. *Journal of Brewing & Distilling*, v. 11, p. 45-56, 2020.

MARTIN, D.; WILLIAMS, T.; COOPER, M. **Advances in wort acidification and pH monitoring in brewing**. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 127, p. 99-111, 2021.

MEILGAARD, M. C.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation Techniques**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

MENEZES, J.; SILVA, F. L.; FERREIRA, L. C. **Conversion of dextrins in brewing: Impact on final beer characteristics**. *Journal of Brewing Science*, v. 128, p. 12-24, 2022.

MIRANDA, M.; SCHMIDT, S.; HARRISON, B. **Temperature corrections in wort refractometry measurements**. *Journal of Food Science*, v. 83, p. 1458-1465, 2018.

MOLINA, C. J.; PÉREZ, A. A.; GARCÍA, J. L. **Dissolved oxygen control in beer packaging: Effects on stability and shelf life**. *Journal of Brewing Science*, v. 76, p. 267-278, 2020.

MORGAN, S. **Brewing Science and Practice: Fermentation dynamics and microbiological control**. 2. ed. London: Academic Press, 2017.

MOSHER, M. **The Brewer's Handbook: The Complete Book to Brewing Beer**. 2. ed. Boulder: Apex Publishers, 2017. 512 p.

OXFORD ECONOMICS. **The global economic impact of beer**. London: Oxford Economics, 2025.

PALMER, J. **Water: A Comprehensive Guide for Brewers**. Boulder: Brewers Publications, 2017.

PAPAZIAN, C. **The Complete Joy of Homebrewing**. 4. ed. New York: HarperCollins, 2014.

ROSA, M. F.; AFONSO, R. J. C. F. **Fermentation and maturation in lager beer production**. *Journal of Fermentation Science*, v. 45, p. 67-79, 2015.

SANTOS, R. A.; LIMA, L. C.; TEIXEIRA, C. F. **Uso de ácidos na correção de pH em fermentação cervejeira**. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 16, p. 35-44, 2022.

SMITH, R. J.; ADAMS, K. J.; WILSON, P. **Optimization of β -amylase activity in malting and mashing processes.** Journal of Brewing & Fermentation, v. 122, p. 88-97, 2023.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Blucher, 2010.

VIDGREN, V.; LAHTENMAKI, N.; KROGERUS, K. **Optimization of hop utilization and bitterness perception in beer.** Journal of Brewing Science, v. 98, p. 45-58, 2010.

WALKER, G. M.; STEWART, G. G. **Yeast Fermentation and Beer Quality.** International Journal of Brewing Science, v. 122, n. 3, p. 115-129, 2016.

WHITE, C.; ZAINASHEFF, J. **Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation.** Boulder: Brewers Publications, 2010.

ZHAO, X.; ZHANG, W.; DENG, Y. **Effect of milling techniques on wort composition and filtration performance.** Journal of Food Engineering, v. 280, p. 1-9, 2021.