



ANA GABRIELLA REZENDE REIS

**PROCESSOS PRODUTIVOS DE CERVEJA NO CONTEXTO
DA ENGENHARIA QUÍMICA**

**LAVRAS – MG
2023**

ANA GABRIELLA REZENDE REIS

**PROCESSOS PRODUTIVOS DE CERVEJA NO CONTEXTO DA ENGENHARIA
QUÍMICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa
Orientadora

Profa. Dra. Natália Maira Braga Oliveira
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2023**

ANA GABRIELLA REZENDE REIS

**PROCESSOS PRODUTIVOS DE CERVEJA NO CONTEXTO DA ENGENHARIA
QUÍMICA**

**BEER PRODUCTION PROCESSES IN THE CONTEXT OF CHEMICAL
ENGINEERING**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 28 de Julho de 2023.

Profa. Dra. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa – UFLA

Profa. Dra. Natália Maira Braga Oliveira – UFLA

Prof. Dr. Nathan Sombra Evangelista – UFLA

Prof. Dr. Tiago José Pires de Oliveira – UFLA

Prof. Dra. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa
Orientadora

Prof. Dra. Natália Maira Braga Oliveira
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar durante toda a minha jornada e me conceder a dádiva da vida.

Aos meus pais, Ana Maria e Solécio Antônio, sou imensamente grata pelo amor, apoio e incentivo incondicionais que me deram durante toda a graduação. Sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu noivo, Ricardo Caldeira, por estar sempre ao meu lado e ser um grande admirador da minha persistência e força de vontade, você sempre esteve ao meu lado me encorajando e inspirando a seguir em frente.

Aos meus seis irmãos, meus sobrinhos e em especial à Mellissa Maria, por ser minha segunda mãe e sempre acreditar em meu potencial e ao João Marcello por todo o apoio que me prestou durante a minha graduação.

Aos meus amigos da graduação, em especial à Ana Paula Gomes e ao Gabriel Oliveira por compartilharem comigo momentos de aprendizado, desafios e conquistas. Vocês foram peças fundamentais nessa jornada e a UFLA não seria a mesma sem vocês.

Aos meus amigos de infância, não tenho palavras para descrever o quanto sou grata a Deus por ter vocês ao meu lado até hoje, vocês são minha segunda família! Em especial, ao Benilton Nascimento, que participou, ainda que brevemente, desse sonho ao meu lado como colega de curso, e à Jéssica Moraes, com quem tive o prazer de compartilhar a mesma casa.

À Mariana Rezende, minha prima e amiga com quem compartilhei o início da minha graduação quando morávamos juntas, essa jornada foi muito melhor ao seu lado. E aos meus tios, Marta Rezende e Silvio Moraes, por todo o suporte!

Ao PROALI, e em especial a Profa. Lizzy Veríssimo, por todo o conhecimento que adquiri no Núcleo de Estudo, aumentando ainda mais todo o meu amor pelos processos da indústria alimentícia.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão às professoras Renata de Aquino e Natalia Braga, pela paciência, disponibilidade e comprometimento em me auxiliar em cada etapa da elaboração do meu trabalho de conclusão de curso.

Agradeço também a todos os professores da graduação que contribuíram para a minha formação profissional, aos meus colegas da Signify e a todas as pessoas que compartilharam um pouco dessa jornada ao meu lado. Sou muito grata pelo apoio e colaboração de todos vocês!

*“A educação é uma das coisas deste mundo em que
acredito de maneira inabalável.”
(Cecília Meireles).*

RESUMO

A cerveja é uma das bebidas mais antigas e consumidas em todo o mundo. Sua origem remonta a civilizações antigas, como os sumérios, que datam de aproximadamente 6.000 a.C. Desde então, a cerveja tornou-se uma parte fundamental da cultura e da economia em muitos países. Do ponto de vista econômico, a indústria cervejeira desempenha um papel significativo tanto no mercado nacional quanto no mundial. Em nível global, a cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais consumidas, gerando bilhões de dólares em receitas anualmente. Além disso, a cadeia produtiva da cerveja envolve agricultores, fornecedores de insumos, distribuidores e varejistas, gerando impactos econômicos em diversos setores. A diversidade de tipos de cerveja é outro aspecto relevante a ser abordado. Desde as tradicionais até as cervejas artesanais e de estilos mais recentes, cada variedade apresenta características distintas de sabor, aroma e aparência. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica dos processos industriais para a produção de cerveja, abordando desde a seleção de matérias-primas até o envase, além de destacar alguns dos principais desafios e inovações do setor, bem como trazer informações importantes sobre seus aspectos econômicos. Através de uma pesquisa bibliográfica utilizando as bases de dados Google Acadêmico e Google Livros foi possível aprofundar o entendimento sobre os processos produtivos utilizados nesse setor. A revisão bibliográfica realizada desempenhou um papel fundamental ao contribuir para uma compreensão mais abrangente da indústria cervejeira e dos seus processos produtivos. Com base nos dados e informações obtidos neste estudo é possível observar a relevância do setor para a economia global, seja em termos de produção (superior a 1.800 milhões de hectolitros, em 2021), valor agregado bruto (US\$555 bilhões, em 2019) e geração de empregos (23 milhões, em 2019). Já no Brasil, o setor cresceu quase 12 % somente em 2022, com as vendas de cerveja alcançando 15,4 bilhões de litros, um acréscimo de 7,7% comparado a 2021. O número de cervejarias registradas já soma mais de 1.700, sendo os estados de São Paulo (387), Rio Grande do Sul (310) e Minas Gerais (222), os maiores em números de estabelecimentos, o que gera emprego e renda nas localidades. Em adição, pode-se concluir que o processo produtivo de cerveja tem passado por uma constante evolução ao longo dos anos, incorporando novas tecnologias, como o uso de Inteligência Artificial e robôs fermentadores, com o objetivo de aprimorar tanto a eficiência do processo quanto a qualidade e variedade (cerveja *low carb*, sem álcool) do produto. Desde a cuidadosa seleção e preparação dos ingredientes, malte, lúpulo, água, leveduras e aditivos, até as etapas cruciais de fermentação, maturação e envase, cada fase requer uma atenção metódica para assegurar a qualidade da cerveja produzida.

Palavras-Chave: Indústria Cervejeira. Qualidade da Cerveja. Tipos de Cerveja. Inovação em Cerveja.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Total de VAB, emprego e impostos sustentados pelo setor cervejeiro em 2019.....	16
Figura 2 - Impacto direto, indireto e induzido no Valor Agregado Bruto (VAB) e no emprego através das cervejarias e da cadeia de valor a jusante.	17
Figura 3 - Evolução da contribuição econômica do setor cervejeiro global de 2015 a 2019...	18
Figura 4 - Desenvolvimento por continente da produção de cerveja de 2020 a 2021.....	19
Figura 5 - Produção de cerveja.	19
Figura 6 - O mercado cervejeiro do Brasil em números em 2022.....	20
Figura 7 - Total de cervejarias registradas no Brasil.	21
Figura 8 - Total de cervejarias registradas por estados brasileiros.....	21
Figura 9 - Total de cervejarias registradas por estados brasileiros.....	22
Figura 10 - Principais companhias cervejeiras no Brasil.	23
Figura 11 - Produção de cerveja por países.	23
Figura 12 - Vendas de cerveja em bilhões de litros de 2014 a 2022.	24
Figura 13 - Tipos de cervejas dentro das classificações: (a) Ale e (b) Lager.....	25
Figura 14 - Processo de produção de cerveja.	27
Figura 15 - Escala de cores de cervejas.	31
Figura 16 - Flor feminina do lúpulo.	32
Figura 17 - Evolução do grão de cevada durante as etapas de malteação com o decorrer do tempo.	35
Figura 18 - Grão de cevada germinado.	37
Figura 19 - Diferentes tonalidades de maltes cervejeiros.....	38
Figura 20 - Grãos de malte moídos.	39
Figura 21 - Moinho de rolos.	40
Figura 22 - Moinho de martelos.	40
Figura 23 - Moinho de disco.....	41
Figura 24 - Rampa de aquecimento de uma cerveja Pilsen.....	43
Figura 25 – Tina de Filtração.	44
Figura 26 - Estruturas químicas dos principais alfa-ácidos (humulonas) do lúpulo.	46
Figura 27 - Representação da reação de isomerização da humulona em cis/trans-iso-humulonas.	47
Figura 28 - Formação de <i>trub</i>	48
Figura 29 - Trocador de calor do tipo placas.....	49

Figura 30 - Tanque de fermentação.	50
Figura 31 - Tanques de fermentação com a localização da atividade das leveduras para cervejas (a) Lager e (b) Ale.	51
Figura 32 - Densidade do mosto em função dos dias de fermentação para uma cerveja Cream Ale.	52
Figura 33 - Filtro de terra diatomácea.	55
Figura 34 - Temperatura e pressão para carbonatação forçada.	56
Figura 35 - Pasteurizador de túnel.	57
Figura 36 - Sistema <i>flash</i>	60
Figura 37 - Leveduras isoladas em microesferas no biorreator.	60
Figura 38 - Demonstração do funcionamento do sistema do equipamento desenvolvido.	61
Figura 39 - Processo de obtenção de cerveja sem álcool a partir da destilação à vácuo.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Íons da água e influência sensorial para a cerveja.....	29
Tabela 2 - Condições ótimas de temperatura e pH para diferentes enzimas.	422
Tabela 3 - Tempo para realizar lupulagem na fervura.....	466

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	HISTÓRIA DA CERVEJA	13
3	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	15
3.1	Mercado mundial	15
3.2	Mercado nacional.....	20
4	TIPOS DE CERVEJA	25
5	PROCESSO PRODUTIVO DA CERVEJA.....	27
5.1	Matérias-primas	28
5.1.1	Água.....	28
5.1.2	Malte	30
5.1.3	Lúpulo.....	31
5.1.3.1	Lúpulo no Brasil	312
5.1.4	Leveduras.....	33
5.1.5	Adjuntos.....	33
5.2	Etapas do processo.....	35
5.2.1	Malteação.....	35
5.2.1.1	Maceração.....	36
5.2.1.2	Germinação.....	36
5.2.1.3	Secagem.....	37
5.2.2	Moagem	38
5.2.3	Mosturação	41
5.2.4	Filtração do mosto	44
5.2.5	Fervura.....	45
5.2.6	<i>Whirlpool</i> e Resfriamento.....	47
5.2.7	Fermentação.....	49
5.2.8	Maturação	53
5.2.9	Acabamento	53
5.2.9.1	Clarificação.....	54
5.2.9.2	Carbonatação	55
5.2.9.3	Pasteurização	57
5.2.10	Envase.....	57

6	NOVAS TECNOLOGIAS NO PROCESSO PRODUTIVO	59
6.1	Leveduras geneticamente modificadas	59
6.2	Fermentação <i>flash</i>	59
6.3	Inteligência artificial na produção de cerveja	60
6.4	Robôs fermentadores (<i>BioBots</i>)	61
6.5	Cerveja sem álcool.....	61
6.6	Cerveja <i>low carb</i>	63
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida milenar, que possui uma longa história de produção e consumo em todo o mundo. É uma bebida alcoólica não destilada que é obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro advindo do malte de cevada e da água, por ação de leveduras e com a adição de lúpulo (OLIVEIRA, 2011). É uma bebida muito versátil, apresentando uma grande variedade de estilos e sabores que agradam aos mais diversos paladares.

A cerveja é uma bebida que possui uma longa história, fazendo parte da alimentação e da cultura de povos de antigas civilizações. De acordo com Silva et al. (2016), acredita-se que a produção de cerveja está relacionada ao processo de fabricação do pão, pois ambos envolvem a fermentação dos cereais. Essa conexão histórica evidencia a presença e a importância da cerveja ao longo dos tempos, não apenas como uma bebida, mas também como um elemento cultural.

Ao longo dos séculos, a cerveja se tornou uma importante *commodity*, desempenhando um papel fundamental na economia de muitos países. De acordo com o relatório global sobre o impacto econômico do setor cervejeiro, elaborado pela *Oxford Economics* em 2022, a indústria cervejeira foi responsável pela geração de 262 bilhões de dólares de tributos e 23,2 milhões de empregos nos 70 países estudados, entre eles, o Brasil.

As cervejas são classificadas de acordo com vários critérios, como origem, extrato original, cor, teor alcoólico, proporção de malte de cevada, tipo de fermentação, controle de processo e tratamento térmico. Embora haja variações entre marcas, todas as cervejas de mesma classificação seguem um processo de fabricação semelhante (ABREU JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009).

Aquarone et al. (2001) destacam que a qualidade da matéria-prima tem um impacto direto na qualidade da cerveja. Fatores como a composição química da água, a variedade do lúpulo e o tipo de malte utilizados são elementos importantes que influenciam na cerveja obtida.

Nos últimos anos, o mercado de cervejas artesanais e de nicho tem crescido significativamente, impulsionado pela busca por produtos de qualidade, com ingredientes selecionados e processos de produção mais cuidadosos. Nesse contexto, é fundamental entender as particularidades do processo produtivo da cerveja, desde as matérias-primas até as etapas de fermentação e maturação, a fim de garantir a qualidade e a segurança do produto.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica acerca dos processos industriais para a produção de cerveja. Serão abordadas todas as etapas que compõem o processo industrial de produção de cerveja, desde a seleção das matérias-primas até o envase,

bem como alguns dos principais desafios, inovações e aspectos econômicos que envolvem este setor industrial.

2 HISTÓRIA DA CERVEJA

A história da cerveja remonta a aproximadamente 6 mil anos atrás, quando os sumérios, um povo da Mesopotâmia, começaram a fabricá-la. Ela é considerada uma das bebidas fermentadas mais antigas e amplamente consumidas em todo o mundo. Acredita-se que a descoberta da cerveja tenha sido feita por acaso, quando se percebeu que cereais fermentados resultavam em uma bebida saborosa. Essa descoberta tem uma relação estreita com a história do pão, uma vez que ambos compartilham os mesmos ingredientes e eram elementos essenciais na alimentação e cultura de várias civilizações (SILVA et al., 2016).

Além disso, registros anteriores à escrita, como desenhos rupestres e símbolos primitivos, indicam a produção de uma bebida semelhante à cerveja. Documentos antigos encontrados em cidades construídas por volta de 6000 a.C. estão repletos de símbolos que sugerem o uso da cerveja como moeda de troca. Escavações arqueológicas realizadas no século XIX encontraram resquícios de cevada em vasos localizados no interior de tumbas de faraós, levantando a possibilidade de a cerveja ter se originado no Oriente Médio ou no Egito. Bedrich Hrozny, um arqueólogo linguista, decifrou algumas tábuas que comprovam a existência de uma bebida à base de cereais consumida na região dos rios Tigre e Eufrates, que era utilizada como remédio, salário e oferenda aos deuses (MORADO, 2011).

De acordo com Pimenta et al. (2020), as primeiras cervejas não possuíam as mesmas características das atuais. Eram produzidas por padeiros devido à natureza da matéria-prima e apresentavam cores escuras, aspecto turvo, sabor amargo, teor alcoólico de cerca de 10%, baixo teor de gás carbônico e quase nenhuma espuma. Podiam ser feitas com diferentes tipos de cereais, como trigo, sorgo, arroz, além da cevada. Uvas, tâmaras, mel e ervas eram adicionados a essas cervejas para aumentar a produtividade e conferir novos sabores e aromas.

Durante a Idade Média, as mulheres desempenhavam um papel fundamental na produção doméstica de cerveja, que era consumida por toda a família, inclusive no café da manhã. A cerveja era uma opção econômica e acessível, ao contrário do vinho, que era caro e de difícil acesso para aqueles com menos recursos (SILVA et al., 2016). Nesta época, no século VI, os mosteiros desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento de técnicas e receitas que melhoraram significativamente a qualidade da cerveja. Como os monges dominavam a leitura, eles podem ser considerados os primeiros pesquisadores da bebida, e sua produção foi a primeira em grande escala, sendo doada ou vendida para a população (MORADO, 2011).

Em 1516, o duque Guilherme IV promulgou a "Lei da Pureza Alemã" (*Reinheitsgebot*), que estabelecia critérios rigorosos para a produção de cerveja. Segundo essa lei, a cerveja deveria ser produzida exclusivamente com cevada, lúpulo e água, garantindo assim a qualidade e pureza da bebida. Essa legislação proibia o uso de outros cereais, especiarias e ervas na produção da cerveja, visando preservar a autenticidade e os padrões de qualidade estabelecidos (SILVA et al., 2016).

Até então não se tinha o conhecimento da importância da levedura para a produção de cerveja. Foi o cientista Louis Pasteur (1822-1895) quem estabeleceu uma relação crucial entre a levedura conhecida como *Saccharomyces cerevisiae* e a fermentação. Em 1860, Pasteur realizou pesquisas pioneiras que permitiram compreender melhor a importância das leveduras no processo fermentativo. Essas descobertas revolucionaram a compreensão da fermentação e tiveram um impacto significativo na indústria cervejira, e desde então a levedura tem seu uso permitido dentro da Lei da Pureza Alemã (BARBOSA, 2018).

Graças ao avanço da ciência, as cervejarias puderam progredir em direção ao seu status industrial. Isso foi possível especialmente devido à compreensão do metabolismo das leveduras, ao desenvolvimento de tecnologias como o termômetro e o refrigerador, e à introdução da técnica de pasteurização, que leva esse nome em homenagem ao seu criador Louis Pasteur. Esses avanços desempenharam um papel fundamental na transformação das cervejarias em operações industriais (MAFRA, 2018).

3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Ao longo dos últimos anos, a indústria cervejeira tem desfrutado de um progresso contínuo, com resultados notáveis tanto no Brasil como ao redor do mundo. Esse avanço tem causado um impacto direto na economia, além de contribuir para a geração de empregos de maneira expressiva. A seguir, serão apresentados dois subtópicos que ressaltam a relevância da cerveja tanto no mercado global quanto no mercado nacional.

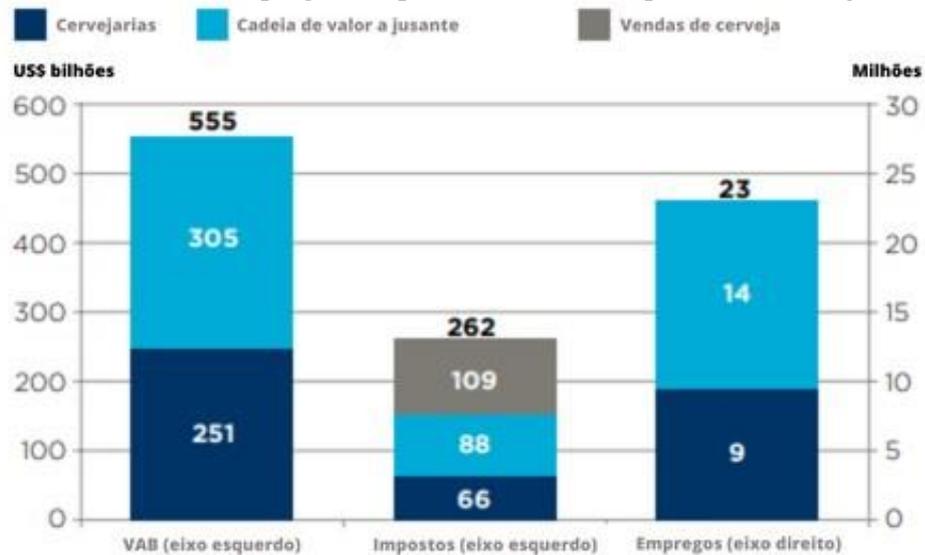
3.1 Mercado mundial

O mercado cervejeiro possui um papel fundamental na economia mundial, destacando-se como uma indústria de grande importância e impacto. Sua presença significativa em diversos países não apenas gera receitas substanciais, mas também impulsiona o crescimento econômico e desempenha um papel significativo na criação de empregos em larga escala.

De acordo com a Oxford Economics (2022), estima-se que, em 2019, o setor cervejeiro teve um impacto econômico significativo nos 70 países avaliados pelo estudo, entre eles o Brasil, Estados Unidos, China, Alemanha, Espanha, Reino Unido, Rússia e Canadá. O valor agregado bruto (VAB) do setor totalizou US\$555 bilhões, conforme demonstrado na Figura 1, contribuindo para o crescimento do produto interno bruto (PIB) global. Além disso, o setor cervejeiro sustentou aproximadamente 23 milhões de empregos em todo o mundo, que é o equivalente à força de trabalho da Itália. Essa contribuição é notável, representando cerca de 0,9% do PIB nos países analisados. Para ilustrar melhor esse percentual, a cada US\$131 gerados nessas economias em 2019, o setor cervejeiro contribuiu com US\$1. O setor cervejeiro também desempenha um papel crucial no pagamento de impostos aos governos ao redor do mundo. As estimativas revelam que as cervejarias e suas cadeias de valor contribuíram com um total de US\$262 bilhões em impostos. Deste montante, US\$109 bilhões correspondem a impostos sobre valor agregado (IVA) e taxas de consumo pagos nas vendas de cerveja.

Na Figura 1, pode-se observar a contribuição total do Valor Agregado Bruto (VAB), empregos e impostos sustentados, diretamente pelas cervejarias, pela cadeia de valor a jusante, que engloba todas as atividades realizadas após a produção da cerveja, e através das vendas de cerveja.

Figura 1- Total de VAB, emprego e impostos sustentados pelo setor cervejeiro em 2019.



Fonte: Adaptado de Oxford Economics (2022).

Arelado a isso, devem ser considerados ainda os gastos do setor cervejeiro com outros negócios (indiretos), como por exemplo fornecedores de matéria-prima, fabricantes de equipamentos e embalagens, distribuidores e transportadores e agência de publicidade e *marketing*. Estes gastos desempenharam um papel significativo no apoio ao PIB, contribuindo com aproximadamente US\$108 bilhões em valor agregado em 2019, conforme demonstra a Figura 2, que mostra o impacto geral e isolado das cervejarias e da cadeia de valor a jusante no Valor Agregado Bruto (VAB) e no emprego. Ela destaca o impacto direto, que se refere às atividades econômicas e empregos gerados diretamente pelas cervejarias e pela cadeia de valor a jusante, indireto, que abrange as indústrias relacionadas à produção de cerveja, como fornecedores e serviços de transporte, e induzido, que envolve os efeitos econômicos e de emprego resultantes do aumento do consumo relacionado às cervejarias e à cadeia de valor.

Cabe ressaltar ainda que as cadeias de suprimentos das cervejarias desempenham um papel crucial nesse cenário. Elas representaram quase metade (43%) da contribuição total das cervejarias para o PIB global e foram responsáveis por quase dois terços (61%) dos empregos mantidos. Tais atividades representam um impacto indireto das cervejarias na economia e estima-se que tenham sustentado 6 milhões de empregos indiretos e gerado cerca de US\$29 bilhões em pagamentos de impostos aos governos em todo o mundo. A interconexão entre as cervejarias e outros setores é fundamental para impulsionar o crescimento econômico e sustentar uma ampla gama de atividades comerciais em diferentes regiões do mundo (OXFORD ECONOMICS, 2022).

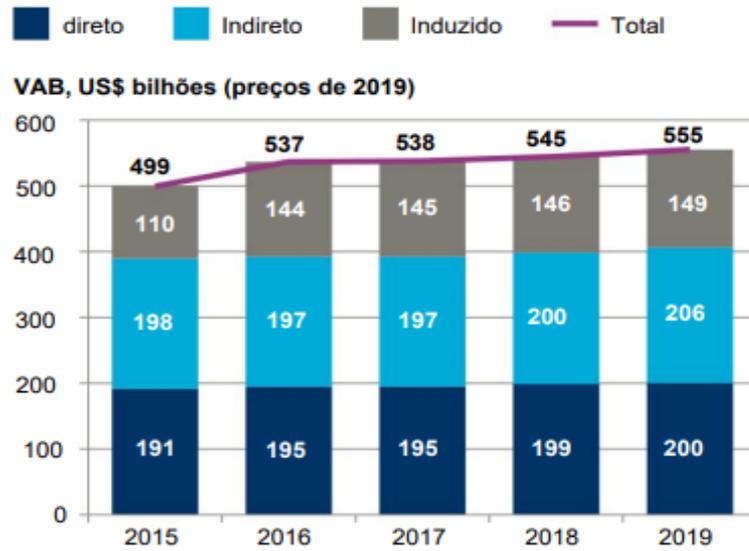
Figura 2 - Impacto direto, indireto e induzido no Valor Agregado Bruto (VAB) e no emprego através das cervejarias e da cadeia de valor a jusante.



Fonte: Adaptado de Oxford Economics (2022).

De acordo com a Figura 3, em 2015, estimou-se que o setor cervejeiro tenha gerado um VAB de US\$499 bilhões, esse valor aumentou para US\$555 bilhões em 2019, representando um crescimento de 11% ao longo desse período, considerando os canais de impacto direto, indireto e induzido.

Figura 3 - Evolução da contribuição econômica do setor cervejeiro global de 2015 a 2019.

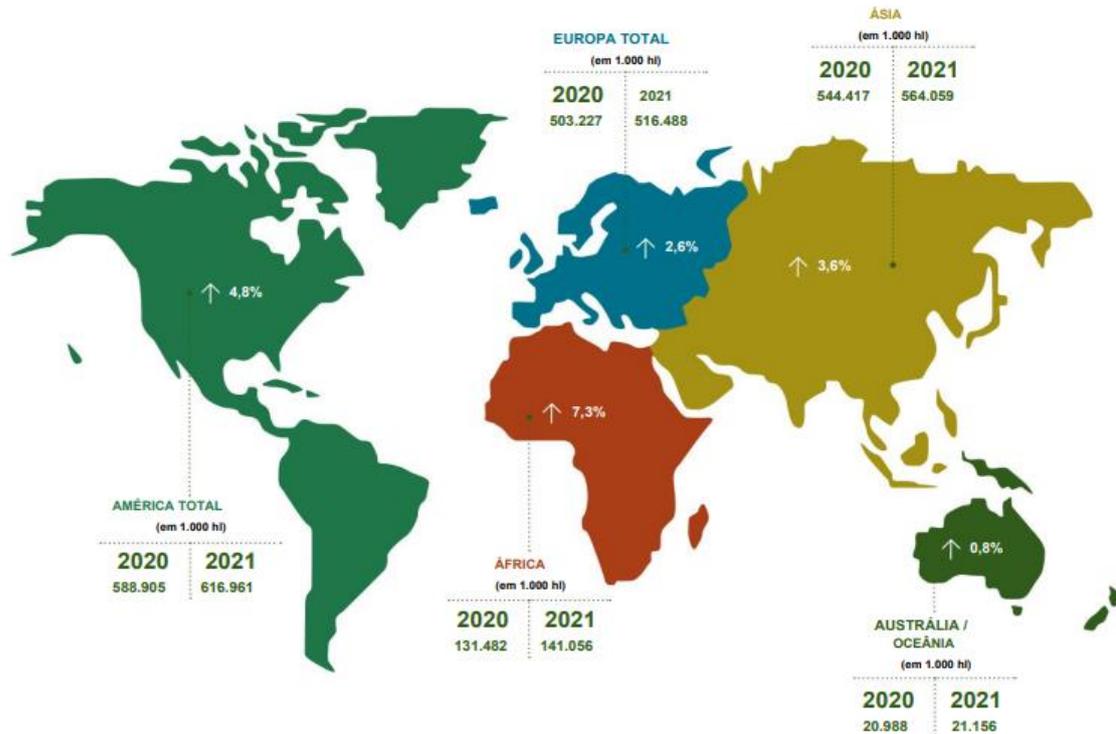


Fonte: Adaptado de Oxford Economics (2022).

O estudo realizado pela Oxford Economics (2022) demonstra que o setor cervejeiro possui uma relevância considerável na economia global, tanto em termos de produção e valor agregado quanto na criação de empregos.

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento significativo na produção de cerveja em todo o mundo. Diversos fatores contribuíram para esse crescimento, incluindo o aumento da demanda global por cerveja, o surgimento de novos mercados consumidores e o desenvolvimento de técnicas de produção mais eficientes. O relatório realizado pela *BarthHass* (2022), mostra que em 2021, todos os continentes apresentaram aumento percentual na produção de cerveja em comparação com 2020, sendo a África o continente com o maior crescimento, seguido pelas Américas, conforme demonstrado na Figura 4. O Reino Unido, Espanha e Rússia impulsionaram a estabilização da produção na Europa, enquanto Brasil e México lideraram o crescimento nas Américas. Na Ásia, a China foi um grande contribuinte para o aumento, enquanto Japão e Coreia do Sul tiveram quedas na produção. Na África, destacam-se a África do Sul e Angola com aumentos significativos na produção de cerveja.

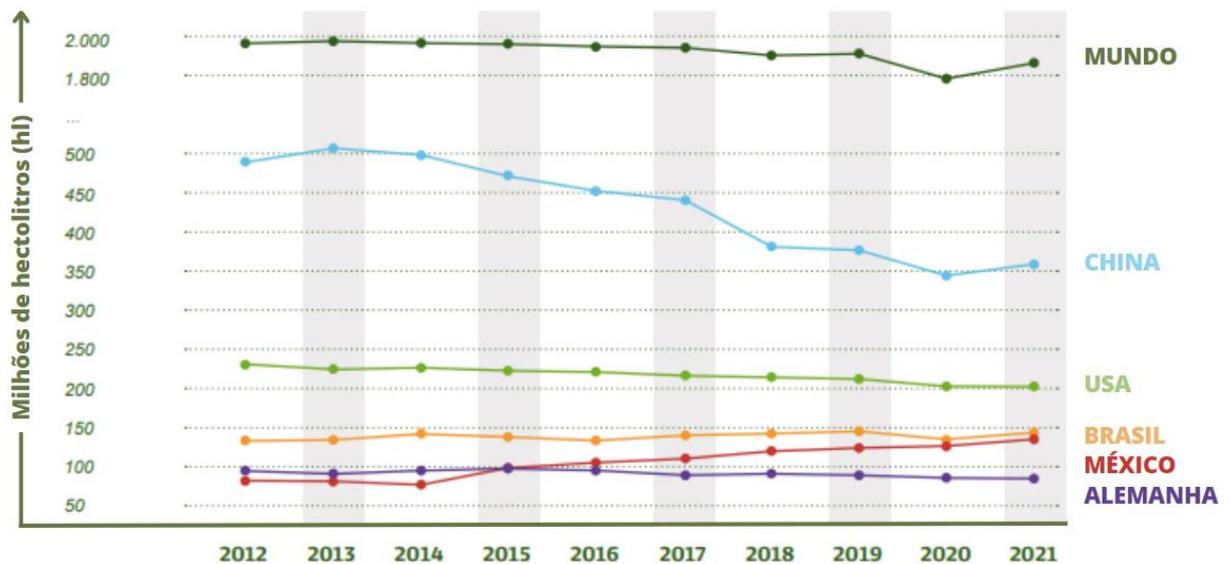
Figura 4 - Desenvolvimento por continente da produção de cerveja de 2020 a 2021.



Fonte: *BarthHaas* (2022).

Ainda, conforme o relatório divulgado pela *BarthHaas*, em 2022, os cinco principais países produtores de cerveja - China, Estados Unidos, Brasil, México e Alemanha - conseguiram manter sua parcela na produção global de cerveja. Juntos, esses países produziram aproximadamente metade do volume total de cerveja produzido em 2020 e 2021, como evidenciado na Figura 5.

Figura 5 - Produção de cerveja.



Fonte: Adaptado de *BarthHaas* (2022).

3.2 Mercado nacional

A cerveja possui uma significativa importância econômica no mercado brasileiro. A indústria cervejeira é uma das mais relevantes no país, gerando empregos, contribuindo para o crescimento econômico e sendo um setor estratégico para o desenvolvimento.

Em termos de geração de empregos, a indústria cervejeira brasileira emprega mais de 2 milhões de pessoas em diversas áreas, como produção, distribuição, *marketing*, vendas e serviços relacionados (SINDCERV, 2023). Na Figura 6 estão apresentados dados relevantes que evidenciam a significativa importância da indústria cervejeira no mercado nacional.

Figura 6 - O mercado cervejeiro do Brasil em números em 2022.



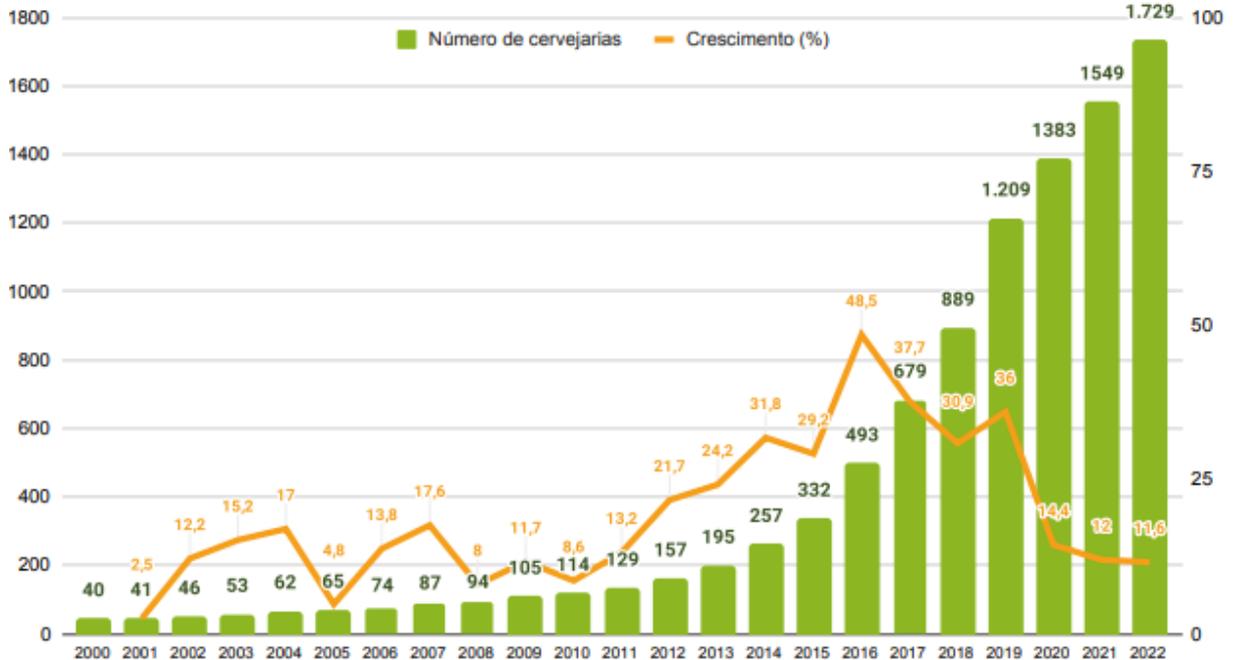
Fonte: Sindcerv (2023).

De acordo com o Sindcerv (2023), o Brasil ocupa a posição de terceiro maior produtor de cerveja no mundo, com uma cadeia produtiva que desempenha um papel significativo na economia do país. Estima-se que essa indústria representa cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e seja responsável por gerar mais de 2 milhões de empregos diretos, que são os empregos que estão diretamente ligados à produção de cerveja, indiretos que são os empregos associados a funções de suporte, e induzidos que são os empregos criados como resultado do impacto econômico gerado pelas cervejarias, com uma massa salarial total de aproximadamente R\$ 27 bilhões.

Conforme o anuário da cerveja de 2022, realizado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o número de cervejarias registradas no Brasil vem crescendo. A Figura 7

demonstra que houve um aumento significativo no número de novos estabelecimentos em 2022, com um total de 180, superando os 166 registrados no ano anterior, em 2021.

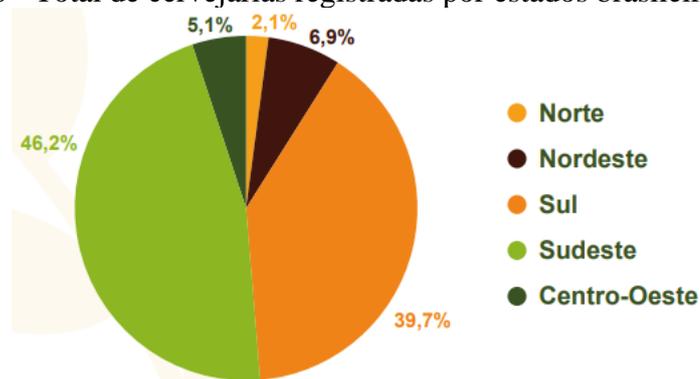
Figura 7 - Total de cervejarias registradas no Brasil.



Fonte: MAPA (2023).

Na Figura 8 é mostrado o percentual de cervejarias por região do Brasil, onde é possível notar que a região Sudeste lidera com o maior número de cervejarias registradas, com 798 estabelecimentos, representando 46,2% do total no Brasil. A região Norte teve um aumento de 20% no número de estabelecimentos em comparação a 2021, o maior crescimento relativo entre as regiões, entretanto, possui apenas 2,1% das cervejarias registradas no país, totalizando 36 estabelecimentos. O Nordeste teve um aumento de 7,1% no número de cervejarias registradas, passando de 112 em 2021 para 120 em 2022, porém apresenta o menor crescimento relativo no período (MAPA, 2023).

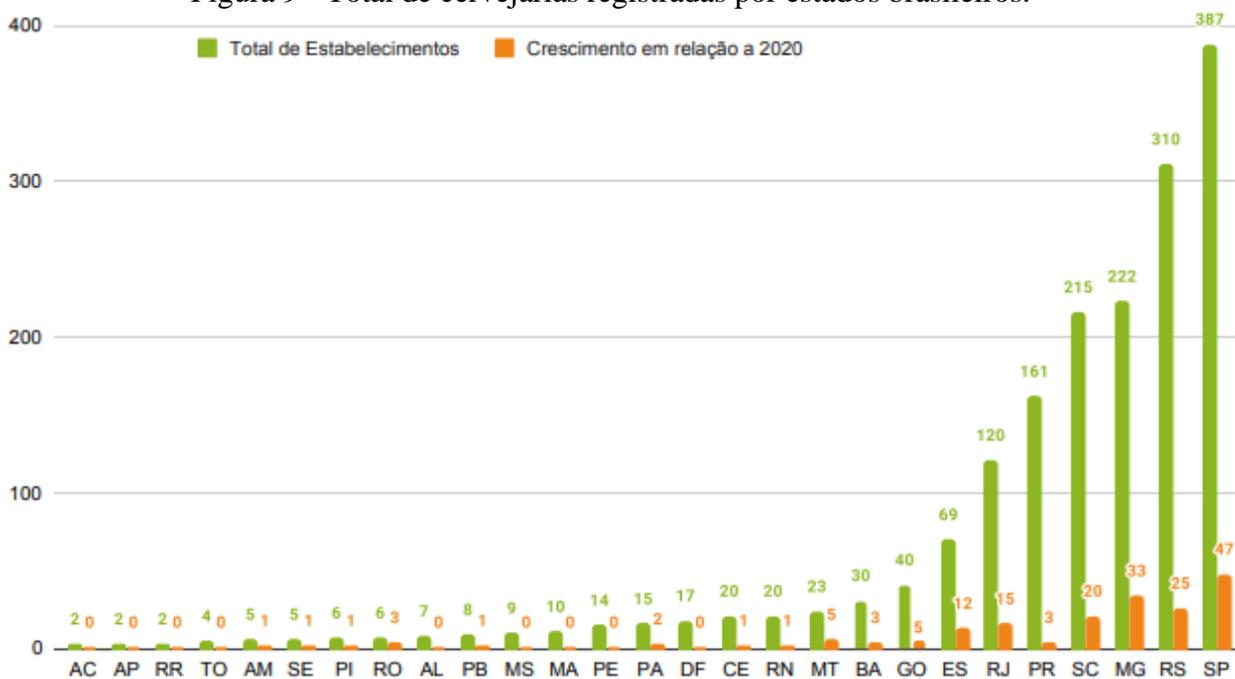
Figura 8 - Total de cervejarias registradas por estados brasileiros.



Fonte: MAPA (2023).

Ao analisar a Figura 9, que mostra o número de cervejarias por estado brasileiro, é possível notar que São Paulo lidera como o estado com maior número de cervejarias registradas, totalizando 387. São Paulo também se destaca pelo maior aumento em relação a 2021, com um acréscimo de 47 cervejarias. Em 2022, nove estados, incluindo Distrito Federal, Pernambuco, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Alagoas, Tocantins, Acre, Amapá e Roraima, mantiveram o número de cervejarias registradas em 2021. Não houve redução no número de estabelecimentos em nenhuma unidade federativa. Minas Gerais subiu para a terceira posição em 2022, com um aumento de 33 cervejarias registradas, totalizando 222 estabelecimentos, superando Santa Catarina, que possui 215 cervejarias e registrou um aumento de 20 estabelecimentos (MAPA, 2023).

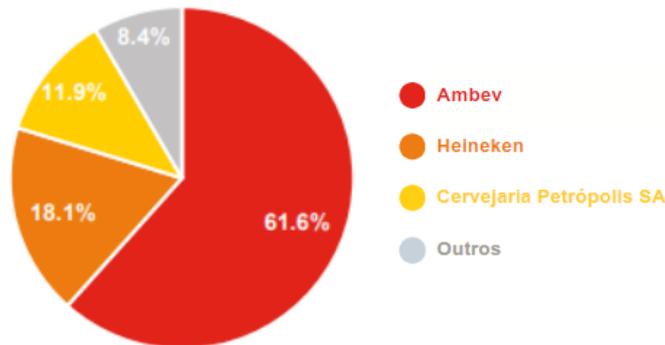
Figura 9 - Total de cervejarias registradas por estados brasileiros.



Fonte: MAPA (2023).

Três empresas controlam mais de 90% do mercado no setor cervejeiro brasileiro. Conforme demonstrado na Figura 10 a empresa dominante é a Ambev, que faz parte da multinacional belgo-brasileira *Anheuser-Busch InBev*, detendo uma fatia de 62% do mercado. Além disso, a Ambev é responsável pelas duas marcas mais vendidas: Brahma e Skol, que juntas representam 22% do volume total comercializado no Brasil. A *Heineken*, uma empresa neerlandesa, ocupa a segunda posição, com 18%, seguida pela cervejaria brasileira Petrópolis, com 12%. Os demais participantes do mercado representam apenas 8% do volume comercializado.

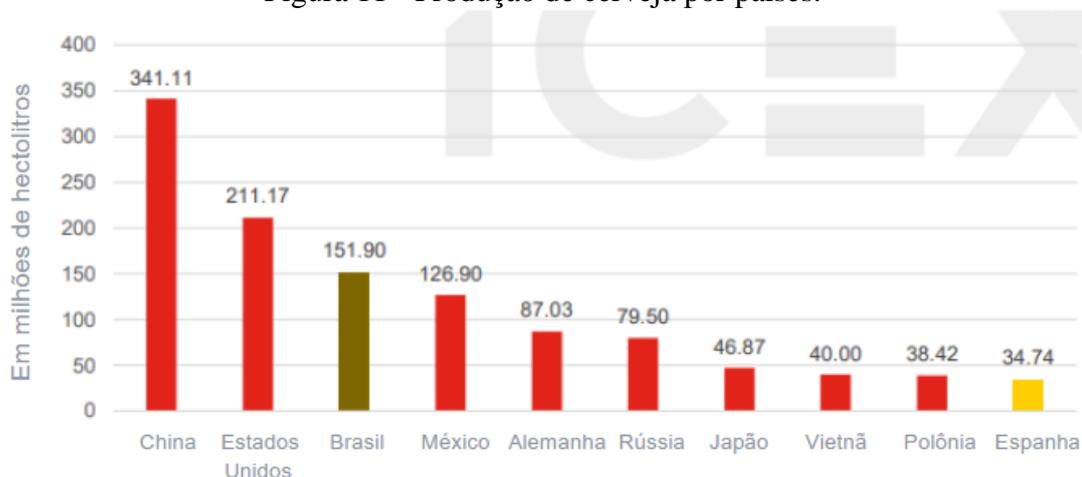
Figura 10 - Principais companhias cervejeiras no Brasil.



Fonte: Adaptado de ICEX (2022).

O setor de cerveja no Brasil possui uma posição de destaque na economia, ocupando o terceiro lugar mundial em termos de produção, ficando apenas atrás da China e dos Estados Unidos, conforme demonstrado na Figura 11. O país se destaca em relação a outras nações de tamanho econômico similar por alguns motivos: a grande população, o alto consumo *per capita* de cerveja e as medidas governamentais, como tarifas e barreiras comerciais, que são impostas às importações de cerveja.

Figura 11 - Produção de cerveja por países.



Fonte: Adaptado de ICEX (2022).

De acordo com a Beer Art Portal da Cerveja (2023), o aumento da realização de grandes eventos, festivais musicais, festas tradicionais e torneios esportivos teve um impacto significativo no consumo de cerveja em 2022. Através da pesquisa realizada pela Euromonitor Internacional em nome do Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (Sindicerv), o volume total atingiu aproximadamente 15,4 bilhões de litros, registrando um crescimento de 8% em relação ao ano anterior, que foi de 7,7% em 2021, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Vendas de cerveja em bilhões de litros de 2014 a 2022.



Fonte: Adaptado de Beer Art (2023).

De acordo com o Guia da Cerveja (2023), há uma projeção de que o Brasil aumentará suas vendas de cerveja em 700 milhões de litros em comparação a 2022. Essa estimativa foi divulgada pela Euromonitor Internacional, uma empresa de pesquisas de mercado. Se essa previsão se concretizar, o total de litros de cerveja comercializados no Brasil atingirá 16,1 bilhões até o final de 2023, representando um aumento de 4,5% em relação aos 15,4 bilhões de litros do ano passado.

4 TIPOS DE CERVEJA

Existem duas principais categorias para classificar as cervejas: as cervejas de alta fermentação (Ale) e as de baixa fermentação (Lager). Essas categorias são amplas e englobam diversos subtipos, cada um com características distintas. As cervejas Lager são as mais consumidas no mundo e representam mais de 99% das vendas no Brasil. Elas passam por uma fermentação a frio, entre 6 a 14°C, utilizando leveduras de baixa fermentação, têm teor alcoólico entre 4% e 5% e os principais subtipos são Pilsener, Bock, Ice, Malzebier e Munchner Dunkel. As cervejas Ale são fermentadas em temperatura mais alta, entre 15 a 25°C, utilizando levedura de alta fermentação e têm sabores mais perceptíveis e encorpados. Os principais subtipos são Stout, Porter e Weissbier (cerveja de trigo). Geralmente as cervejas Lager são claras e leves, enquanto as Ale podem ter cores escuras (NATASHA; JULIO, 2012). Na Figura 13 são mostrados os tipos de cerveja dentro de cada classificação

Figura 13 - Tipos de cervejas dentro das classificações: (a) Ale e (b) Lager.



Fonte: Adaptado de Tripbeer (2021).

Conforme Oliveira e Drumond (2014), existem diferentes classificações para as cervejas além do tipo de fermentação, que são: o extrato primitivo, a cor, o teor alcoólico e o extrato final.

O extrato primitivo se refere à quantidade de matéria-prima solubilizada em relação ao volume do mosto. Segundo essa classificação, as cervejas podem ser classificadas como leves (com extrato primitivo entre 5% e 10,5%), comuns (com extrato primitivo entre 10,5% e 12%), extras (com extrato primitivo entre 12% e 14%) e fortes (com extrato primitivo acima de 14%).

A cor da cerveja pode ser baseada no padrão estabelecido pela *European Brewery Convention* (EBC), que é a Convenção Europeia de Produção de Cerveja, ou pela classificação Lovibond, que é na verdade uma forma abreviada para o SRM (*Standard Reference Method*)

conhecido como Método de Referência Padrão. Seguindo essa classificação EBC, as cervejas podem ser consideradas claras, quando possuem menos de 20 unidades EBC, ou escuras, quando têm 20 ou mais unidades EBC.

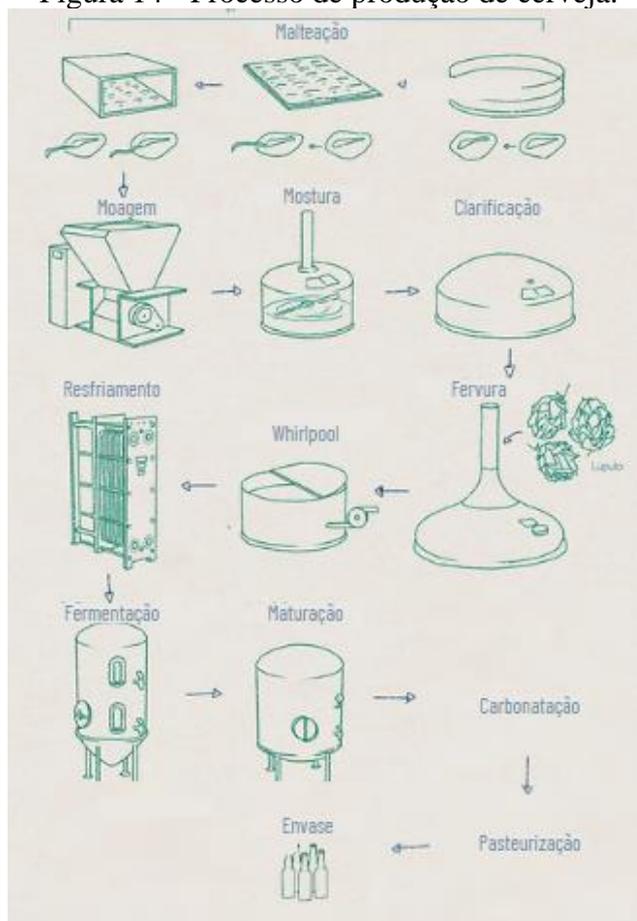
O teor alcoólico é outra característica importante na classificação das cervejas. Existem as cervejas sem álcool, que possuem menos de 0,5% em volume de álcool, e as cervejas alcoólicas, que possuem um teor igual ou superior a 0,5% em volume de álcool.

O extrato final se refere à quantidade de matéria-prima não fermentada presente no processo de fabricação da cerveja, ou seja, a proporção de malte de cevada em sua composição. Uma “cerveja puro malte” é aquela que possui 100% de malte de cevada em sua composição. No entanto, uma cerveja é considerada como tal quando possui um valor igual ou superior a 50% de malte de cevada em sua composição.

5 PROCESSO PRODUTIVO DA CERVEJA

A produção da cerveja envolve diversos processos que garantem a qualidade e as características desejadas para cada tipo do produto. O processo começa com a seleção das matérias-primas, que incluem principalmente malte, água, lúpulo e levedura. A Figura 14 mostra o fluxograma de um processo produtivo da cerveja.

Figura 14 - Processo de produção de cerveja.



Fonte: Adaptado de C² Conexão Ciência (2021).

Conforme descrito no fluxograma da Figura 14, primeiro, tem-se o processo de malteação. Essa é uma etapa importante no processo de produção de cerveja, pois fornece as enzimas necessárias para a conversão do amido em açúcares fermentáveis durante a mosturação. Após a malteação, os grãos de cevada maltados são moídos, para expor os amidos necessários. Em seguida, ocorre a mosturação, na qual o malte moído é misturado com água quente, inicialmente em torno de 45°C a 55°C (esta faixa de temperatura é conhecida como o descanso de proteínas e tem a função de quebrar as proteínas do malte) e, depois, tem-se as elevações de temperatura para permitir a conversão dos amidos em açúcares fermentáveis (BAMFORTH, 2009).

Após a mosturação, o mosto é separado dos resíduos sólidos no processo de filtração obtendo-se um mosto clarificado. Em seguida, o mosto clarificado é levado à fervura, para a esterilização do líquido e a adição de lúpulo, o qual é responsável pelo amargor, aroma e sabor da cerveja. A quantidade e o momento de adição do lúpulo podem variar de acordo com o estilo desejado (PALMER, 2017).

Após a fervura, o mosto é resfriado rapidamente para temperaturas adequadas à fermentação. Esse resfriamento rápido é fundamental para evitar a contaminação e preparar o mosto para a próxima etapa. Em seguida, a levedura é adicionada ao mosto resfriado, dando início ao processo de fermentação. A levedura consome os açúcares fermentáveis presentes no mosto, produzindo álcool e dióxido de carbono. Por fim, a cerveja é clarificada e carbonatada, e pode ser envasada em barris, garrafas ou latas para distribuição e consumo (BAMFORTH, 2009).

5.1 Matérias-primas

A produção de uma cerveja de alta qualidade requer uma cuidadosa seleção de matérias-primas. As matérias-primas essenciais são água, levedura, cevada e lúpulo. Esses quatro componentes são estipulados na Lei de Pureza Alemã como os únicos permitidos na fabricação dessa bebida. No entanto, algumas empresas optam por utilizar grãos alternativos, como milho, trigo e arroz, para reduzir os custos de produção, prática que pode comprometer a qualidade do produto (SOUZA, 2017). Nas próximas seções as matérias-primas serão abordadas com maior ênfase.

5.1.1 Água

Conforme Ávila et al. (2022), a cerveja é composta principalmente por água, representando mais de 92% de seu volume total. Os minerais presentes na água utilizada na produção da cerveja desempenham um papel chave no perfil sensorial, acentuando características distintas, de acordo com o estilo desejado.

De acordo com Salimbene, Meneghetti e Rolim (2016), a fabricação da cerveja requer a utilização de água em diversas etapas, cada um exigindo um tratamento adequado para a função desse insumo naquela etapa específica. Esses tipos incluem água de:

- fabricação ou cervejeira: Esse tipo de água atua como um ingrediente na cerveja e, portanto, requer um tratamento adequado. É essencial garantir a qualidade e a pureza dessa água.

●processo: Utilizada para a limpeza e esterilização de equipamentos, reatores, encanamentos e todas as superfícies que entram em contato com a cerveja. Também pode ser usada para pasteurização e refrigeração durante o processo de fabricação.

●serviço: Essa água é empregada no resfriamento do mosto e em caldeiras, portanto, é importante garantir que seja livre de impurezas que possam prejudicar o desempenho das mesmas.

A água utilizada na produção de cerveja deve ter um pH neutro a levemente ácido, entre 5,2 e 5,6, baixa alcalinidade e baixa dureza e deve ser livre de contaminantes e impurezas que possam afetar a qualidade da cerveja (BRIGGS et al., 2004).

A presença de íons na água cervejeira afeta o sabor da cerveja. O excesso dos sais minerais presentes na água aumenta o pH, dificulta a formação de açúcares, degrada proteínas mais lentamente e resulta em uma cor mais escura. No entanto, baixas concentrações de sais têm efeitos opostos. Na Tabela 1, são destacados íons e sua influência no sabor da cerveja, além das concentrações ideais esperadas para a produção da bebida. Também são mencionadas as concentrações que, quando alteradas, podem impactar a percepção sensorial da cerveja (SALIMBENE, MENEGUETTI e ROLIM, 2016).

Tabela 1 - Íons da água e influência sensorial para a cerveja.

Íon	Símbolo	Concentração ideal (mg/L)	Concentração alterada (mg/L)	Percepção sensorial (sabor)
Sódio	Na^+	10 a 70	150 a 200 > 200	Realça corpo maltado Salgado
Potássio	K^+	300 a 500	> 500	Salgado
Magnésio	Mg^{2+}	10 a 30	> 70	Amargo e azedo
Cálcio	Ca^{2+}	50 a 150	< 50	Azedo
Hidrônio	H^+ H_3O^+	pH 6,5 a 7,0 (depende da cerveja produzida)	pH < 4 pH ≤ 3,7 pH > 4 pH ≥ 4,4	Ácido, com tendência para o amargor Metálico Torrado Sabão (básico)
Ferro	Fe^{3+}	< 0,05	≥ 0,05	Metálico e adstringente
Cloreto	Cl^-	0 a 250	> 250	Salgado
Sulfato	SO_4^{2-}	50 a 150 cervejas amargas e 150 a 350 cervejas muito amargas	> 400	Acentua amargor do lúpulo, adstringente e sulfuroso

Fonte: Salimbeni, Meneguetti e Rolim (2016).

Esses íons desempenham um papel importante na complexidade e no perfil de sabor da cerveja, contribuindo para nuances como doçura, acidez, amargor e outros elementos sensoriais. É essencial compreender a influência desses íons para obter o perfil desejado de sabor na cerveja final.

O tratamento da água para produção de cerveja é um processo essencial para garantir que a qualidade da água atenda aos padrões específicos exigidos para cada estilo de cerveja. Conforme Bamforth (2009), os principais passos no tratamento da água para a produção de cerveja incluem:

1. remoção de contaminantes: Caso a água apresente contaminantes indesejáveis, é necessário removê-los. Isso pode ser feito através de processos como a filtração, uso de carvão ativado ou tratamentos químicos específicos.
2. ajuste do pH: A água deve ser corrigida para o pH adequado à fase da mosturação. Normalmente, utiliza-se ácido para reduzir o pH ou carbonato de cálcio para aumentá-lo, conforme necessário.
3. equilíbrio mineral: É importante ajustar a concentração de sais minerais na água para corresponder ao estilo de cerveja desejado. Adições de cálcio, sulfato, cloreto e magnésio podem ser realizadas para alcançar o perfil de água ideal.
4. descloração: O cloro e cloraminas presentes na água da rede pública devem ser removidos, pois podem gerar sabores indesejados na cerveja final.

A água tratada de acordo com essas etapas é fundamental para garantir uma base sólida na produção de cerveja, permitindo que o cervejeiro tenha controle sobre as características da água utilizada e, assim, produza cervejas consistentes com os perfis de sabor desejados para cada estilo.

5.1.2 Malte

O malte de cevada é um dos principais ingredientes na produção de cerveja, responsável por fornecer açúcares fermentáveis e contribuir com sabor, aroma e cor à bebida. Ele é obtido do processo de malteação da cevada.

Existem diversos tipos de malte de cevada disponíveis no mercado, cada um com características distintas de sabor, cor e aroma. Segundo Bamforth (2016), o malte Pilsen é o mais utilizado na produção de cerveja, pois confere um sabor suave e uma cor clara à bebida. Outros tipos de malte comumente utilizados incluem o Vienna, Munich, Amber, Brown e Black.

Na Figura 15, tem-se as classificações numéricas que tanto a SRM como a EBC dão a um malte e que informa aproximadamente qual cor de cerveja o respectivo malte com aquele SRM ou EBC pode produzir.

Figura 15 - Escala de cores de cervejas.

SRM	2-3	3-4	5-6	6-9	10-14	17-18	19-22	22-30	30-35	30+	40+
EBC	4-6	4-8	10-12	12-18	20-28	33-36	37-43	43-59	59-69	69	79
COR	Palha	Amarelo	Ouro	Âmbar profundo, cobre	Cobre	Cobre escuro	Marrom	Marrom escuro	Marrom muito escuro	Negro	Negro opaco

Fonte: Mafra (2018).

Além de fornecer açúcares fermentáveis à cerveja, o malte também é responsável por fornecer nutrientes importantes para a levedura, como proteínas, vitaminas e minerais. Segundo Briggs et al. (2004), a qualidade do malte é um fator crítico na produção de cerveja, uma vez que pode afetar a eficiência da fermentação e a qualidade final da bebida.

De acordo com Priest e Stewart (2006), além da cevada, outros cereais podem ser maltados para a produção de cervejas especiais. Um exemplo disso é a cerveja de trigo alemã Weiss, que é produzida com trigo maltado. Isso mostra que, além da cevada, outros grãos podem ser utilizados na fabricação de cervejas, resultando em diferentes estilos e características de sabor.

5.1.3 Lúpulo

O lúpulo é um dos ingredientes fundamentais na produção de cerveja, utilizado para adicionar amargor, sabor e aroma à bebida. Além disso, o lúpulo também possui propriedades antimicrobianas, que ajudam a preservar a cerveja e prolongar sua vida útil.

O lúpulo é uma planta pertencente à família Cannabaceae e é dióica, o que significa que produz flores masculinas e femininas. As flores são organizadas em espigas e possuem glândulas secretoras de resinas e óleos contendo substâncias amargas, que conferem o amargor característico e contribuem para o aroma peculiar da cerveja. Na fabricação de cerveja são utilizadas apenas as flores femininas, pois são nelas que se encontra a substância amarga conhecida como "lupulina". O lúpulo pode ser comercializado em forma de flores secas, em *pellets* ou em extratos (AQUARONE et al., 2001). Na Figura 16 é possível observar a representação da flor feminina do lúpulo, onde se destacam os pequenos grânulos amarelados conhecidos como lupulina, presentes em seu interior.

Figura 16 - Flor feminina do lúpulo.



Fonte: Gahr e Foster (2018).

O sabor amargo característico da cerveja é resultado da presença de alfa ácidos nas resinas da lupulina. É importante destacar que o sabor amargo só se desenvolve após a isomerização dos ácidos durante o processo de fervura do mosto, uma etapa fundamental na produção de cerveja. Além dos alfas ácidos, também se encontra beta ácidos no lúpulo, que possuem propriedades antimicrobianas e contribuem para a preservação da cerveja. Além disso, os óleos essenciais presentes no lúpulo são responsáveis pelo aroma característico da planta e são essenciais para criar uma variedade de aromas na cerveja (SANTOS, 2023).

No mundo, há uma ampla variedade, com mais de 100 tipos de lúpulo, que se distinguem por diferentes características, como a quantidade de alfa e beta ácidos, bem como os óleos essenciais presentes. Essas variedades são classificadas em lúpulos aromáticos e de amargor, de acordo com suas propriedades sensoriais e funcionais na cerveja. Os aromáticos contribuem para aroma e sabor, enquanto os de amargor fornecem intensidade de amargor. Essa diversidade oferece aos cervejeiros uma ampla gama de opções para criar perfis únicos de aroma, sabor e amargor em suas cervejas (SANTOS, 2023).

O lúpulo é adicionado à cerveja em diferentes momentos do processo de produção, de acordo com o efeito desejado. Segundo Bamforth (2016), a adição de lúpulo no início da fervura é responsável pelo amargor da cerveja, enquanto a adição de lúpulo no final da fervura é responsável pelo sabor e aroma. Além disso, o lúpulo também pode ser adicionado durante o processo de fermentação, para aumentar o aroma e sabor da cerveja, ou durante a maturação, para adicionar um aroma mais suave e agradável.

5.1.3.1 Lúpulo no Brasil

De acordo com um levantamento conduzido pela Aprodúpulo (2023), a área de cultivo de lúpulo no Brasil atingiu 48 hectares no ano passado, resultando em uma produção de 29 toneladas. As projeções para 2023 indicam que a área de produção deve dobrar, alcançando 88

toneladas de lúpulo disponíveis no mercado nacional. A expectativa é que, já em 2024, o Brasil se torne o principal produtor de lúpulo na América Latina. A crescente aceitação do mercado contribui para o sucesso do lúpulo nacional. Até o momento, cerca de 110 cervejarias de 11 estados diferentes já utilizaram esse insumo em suas produções. Os cervejeiros destacam o frescor como um dos principais diferenciais, uma vez que a maior parte do lúpulo importado é de safras passadas, com até três anos de idade. Além disso, o lúpulo produzido no Brasil tem alcançado uma qualidade comparável aos principais países produtores, como Estados Unidos e Alemanha.

5.1.4 Leveduras

As leveduras são microrganismos fundamentais na produção de cerveja, sendo responsáveis pela fermentação dos açúcares presentes no mosto, transformando-os em álcool e dióxido de carbono. A escolha da levedura utilizada na produção de cerveja pode afetar diretamente o sabor, o aroma, o corpo e a aparência da bebida.

A escolha da levedura também pode afetar o perfil de ésteres e fenóis produzidos durante a fermentação, que podem contribuir para o sabor e aroma da cerveja. Além disso, segundo Bamforth (2016), a escolha da temperatura de fermentação pode afetar a produção de compostos pela levedura, sendo que quanto mais alta a temperatura na fermentação, maior será a produção de álcool e ésteres (compostos aromáticos desejáveis).

A produção de cerveja envolve a utilização de diferentes tipos de leveduras, sendo as mais comuns pertencentes ao gênero *Saccharomyces*. Entre elas, destacam-se a *Saccharomyces cerevisiae* que atuam em temperaturas entre 15 e 25°C, conhecida como levedura de alta fermentação, e a *Saccharomyces uvarum* que atuam em temperaturas entre 7 a 13°C, também chamada de levedura de baixa fermentação (OLIVEIRA, 2011).

A quantidade de levedura utilizada na produção de cerveja também é um fator importante, pois a quantidade inadequada pode afetar a eficiência da fermentação e a qualidade final da bebida. Segundo Briggs et al. (2004), a quantidade de levedura utilizada na produção de cerveja deve estar na faixa de 5 a 10 milhões de células por mL de mosto.

5.1.5 Adjuntos

Na produção de cerveja, os adjuntos são ingredientes adicionais que podem ser usados juntamente com as matérias-primas tradicionais, como cevada, lúpulo, água e levedura. Em sua maioria os adjuntos são cereais como o milho, o arroz, a aveia e o trigo.

Os cereais são adicionados durante a fase de fabricação do mosto, oferecendo uma fonte adicional de material fermentável, ao mesmo tempo em que reduzem os custos e diminuem o teor de nitrogênio no extrato, uma vez que, quando comparados ao malte de cevada possuem um teor de nitrogênio mais baixo. Os adjuntos derivados de cereal desempenham o papel de fornecer carboidratos não malteados ao mosto de cerveja, sendo selecionados por sua composição e propriedades adequadas para serem utilizados como matérias-primas complementares ao malte de cevada, que é o principal componente (OLIVEIRA, 2011).

Além dos cereais, a cerveja pode ser complementada com condimentos para adicionar características específicas à bebida. Esses condimentos podem incluir uma ampla variedade de especiarias culinárias, ervas, vegetais, nozes, pimentas, pétalas de abeto vermelho, hibiscos, rosas, café, chocolate, cascas de frutas e outros ingredientes (MORADO, 2011).

O uso de adjuntos pode afetar o sabor, a cor e a textura da cerveja, e pode também alterar as características de espuma e a estabilidade do produto. De acordo com Bamforth (2016), o uso de adjuntos é controverso na indústria cervejeira, sendo considerado por alguns como um meio de cortar custos e por outros como uma forma de inovar e criar outros estilos de cerveja. A utilização de adjuntos na fabricação de cerveja é regulamentada e varia de acordo com a legislação de cada país. As leis cervejeiras estabelecem limites e restrições que determinam a quantidade e o tipo de adjuntos permitidos em cada região.

Conforme Oliveira (2011), existem diferentes abordagens legislativas nos países europeus em relação ao uso de adjuntos na fabricação de cerveja. Estas podem ser agrupadas em três categorias distintas:

5. países que exigem o uso exclusivo de malte de cevada, devido à aplicação da "Lei da Pureza" (exceto para cervejas de alta fermentação). Exemplos incluem Alemanha e Grécia;
6. países que permitem o uso limitado de adjuntos, variando de 25% a 40% da composição. Exemplos incluem França, Bélgica e Itália;
7. países que não possuem restrições quanto ao uso de adjuntos, permitindo sua utilização ilimitada. Exemplos incluem Dinamarca, Irlanda e Grã-Bretanha.

De acordo com o decreto nº 9.902 de 2019, no Brasil, a legislação estabelece que o máximo permitido de adjuntos cervejeiros em peso no extrato primitivo do mosto cervejeiro é de 45% (BRASIL, 2019).

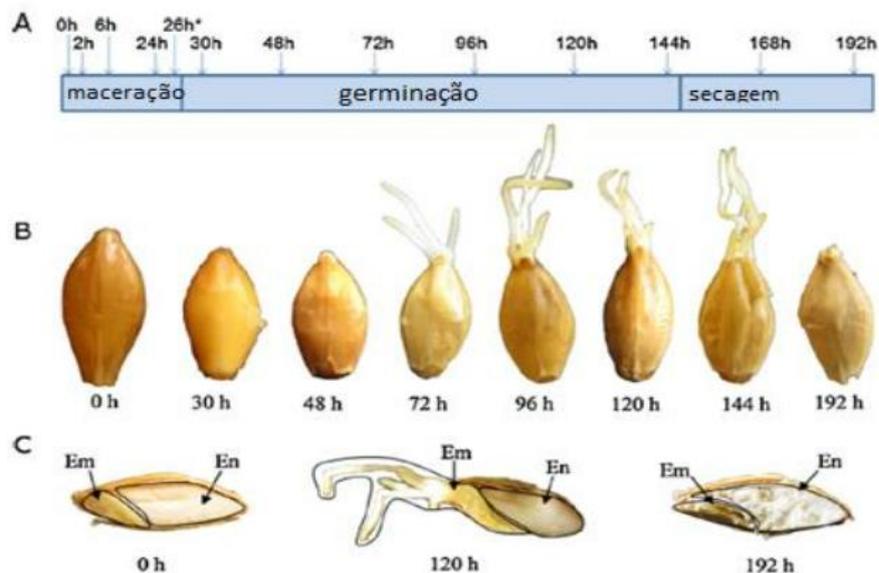
5.2 Etapas do processo

5.2.1 Malteação

A malteação é uma etapa fundamental na produção de cerveja, pois é durante esse processo que as enzimas responsáveis pela transformação do amido em açúcares fermentáveis são produzidas. De acordo com Bamforth e Cook (2019), o processo de malteação pode ser dividido em três etapas principais: maceração, germinação e secagem, conforme ilustrado nas três primeiras etapas do processo de produção de cerveja descrito na Figura 17.

Na Figura 17, é possível observar a evolução da cevada durante as diferentes etapas do processo de malteação com o decorrer do tempo, assim como o desenvolvimento do endosperma até a fase final de secagem. Nesta figura, A, B e C representam, respectivamente, os tempos para cada etapa do processo de malteação, a evolução do grão e o desenvolvimento do endosperma ao longo do tempo. "Em" e "En" indicam, respectivamente, o embrião e o endosperma.

Figura 17 - Evolução do grão de cevada durante as etapas de malteação com o decorrer do tempo.



Fonte: Pinheiro (2016).

O malte é obtido por meio da germinação de diversos tipos de grãos, incluindo a cevada, que é a mais usada na fabricação da cerveja. Após a colheita, a cevada é armazenada em silos específicos, nos quais são mantidas condições ideais de temperatura e umidade, até que seja encaminhada à indústria. Durante o processo de transformação da semente em malte, a cevada é germinada em condições controladas de temperatura, umidade e ventilação, até que o processo

seja interrompido. Caso contrário, a semente se desenvolveria em uma planta. A qualidade da cerveja está diretamente relacionada ao processo de malteação, pois o aroma, sabor e cor, ou seja, as características sensoriais da bebida, dependem da qualidade do malte utilizado (DRAGONE; SILVA, 2010).

5.2.1.1 Maceração

A etapa inicial da malteação, conhecida como imersão, maceração ou umidificação, desempenha um papel fundamental no processo. Durante essa etapa, os grãos são imersos em água para hidratá-los e iniciar a germinação. A quantidade de água utilizada na imersão varia de acordo com o tipo de grão e a finalidade do malte. O teor de umidade é aumentado para aproximadamente 35 a 45% (PORTO, 2011).

A temperatura e o tempo de imersão também são controlados para evitar a proliferação de fungos e bactérias indesejáveis e garantir a germinação adequada dos grãos. Segundo Kunze (2018), a temperatura da água durante a imersão deve estar entre 10 e 18 °C, e o tempo de imersão pode variar de 12 a 48 horas, como demonstrado na Figura 17, dependendo do tipo de grão.

A maceração é considerada uma fase crítica, pois é necessário garantir que todos os grãos atinjam a umidade desejada de forma homogênea, a fim de obter um malte de qualidade uniforme. Os grãos apresentam diferentes áreas de absorção de água, sendo que algumas partes absorvem mais rapidamente do que outras. Além disso, cada grão possui características físicas distintas, podendo haver aberturas ou defeitos na casca, o que resulta em uma maior absorção de água (PORTO, 2011). Uma das formas de garantir a homogeneidade da umidade dos grãos é pelo uso da agitação, que aumenta o contato da água com todas as partes do grão. Após a imersão, os grãos são drenados e colocados em um recipiente para iniciar a germinação.

5.2.1.2 Germinação

A germinação é a segunda etapa do processo de malteação, em que os grãos que foram previamente imersos em água são transferidos para um local com temperatura e umidade controladas, para que possam germinar. Esse processo geralmente dura entre 3 e 5 dias, conforme demonstrado na Figura 17 e nesse período, ocorrem diversas transformações bioquímicas no interior do grão, como a produção de enzimas amilases, responsáveis pela degradação do amido em açúcares fermentáveis.

Nessa fase, ocorre uma atividade enzimática fundamental para o desenvolvimento do grão. Esse processo desempenha um papel fundamental no crescimento da planta. No entanto, é indesejável que ocorra o desenvolvimento vegetal, pois está associado à produção de fenóis, que resultam em sabores e aromas considerados defeituosos (*off-flavours*) no produto, a cerveja. Além disso, o desenvolvimento vegetal promove o consumo do endosperma, composto por amido e aminoácidos, o que impacta diretamente no rendimento do malte e, conseqüentemente, no processo de produção de cerveja (PINHEIRO, 2016).

A temperatura e a umidade devem ser cuidadosamente controladas durante essa etapa para garantir que o processo de germinação ocorra adequadamente. De acordo com Kunze (2004), a temperatura deve ser mantida entre 12 e 16 °C, e a umidade deve ser mantida em torno de 95%.

Pinheiro (2016) destaca que períodos mais longos em baixas temperaturas aumentam a eficiência enzimática do malte, sem promover um grande desenvolvimento vegetal. Isso leva a rendimentos satisfatórios na produção de malte. No entanto, temperaturas altas durante a germinação levam ao consumo de amido, o que não é desejado, pois o amido deve ser degradado durante a produção de cerveja. Além disso, o consumo de amido nesta fase resulta no desenvolvimento do embrião e na presença de substâncias amargas indesejadas na cerveja.

Durante a germinação, o grão também desenvolve a raiz, que é responsável por absorver nutrientes e água do solo. No entanto, essa raiz é removida durante a próxima etapa, conhecida como secagem. Na Figura 18, tem-se um grão de cevada germinado.

Figura 18 - Grão de cevada germinado.



Fonte: Central Brew (2023).

5.2.1.3 Secagem

Após a germinação, os grãos são secos em um forno para interromper o processo de germinação e estabilizar o malte. Durante a secagem, os grãos são submetidos a uma corrente

de ar quente, que varia de acordo com o tipo de malte desejado. Essa etapa é fundamental também para evitar o crescimento de fungos e bactérias. Para o malte claro, a secagem é realizada a uma temperatura mais baixa e por um período mais curto para preservar o máximo dos açúcares fermentáveis presentes no grão, enquanto para o malte escuro, a secagem é realizada a uma temperatura mais alta e por um período mais longo, para a caramelização dos açúcares presentes nos grãos.

Segundo Kunze (2004), a temperatura da secagem varia entre 50 e 85 °C, e a duração varia de acordo com a umidade residual desejada. A umidade é reduzida de cerca de 40% para menos de 5% para garantir a estabilidade e preservação do malte. Essa redução interrompe os processos de germinação e modificação, uma vez que as atividades enzimáticas são encerradas.

Após a redução do teor de umidade do grão para cerca de 5%, inicia-se a etapa de cura. É nesse processo que as características finais de cor, aroma e sabor do malte são definidas (HELLWIG, 2019). A Figura 19 ilustra algumas das diferentes tonalidades de malte obtidas após o processo de secagem.

Figura 19 - Diferentes tonalidades de maltes cervejeiros.



Fonte: Ezbrew (2021).

A secagem deve ser realizada com cuidado, para evitar o superaquecimento dos grãos, o que pode levar a uma degradação das enzimas e a perda de qualidade do malte. É uma etapa muito importante para a produção de malte de qualidade, pois também é responsável pela remoção da raiz do grão, que pode liberar compostos indesejados na cerveja (PORTO, 2011).

5.2.2 Moagem

O processo de moagem na produção de cerveja é essencial para obter o tamanho de partícula ideal dos grãos de malte, que permitirá uma extração eficiente dos açúcares fermentáveis durante a mosturação. A moagem adequada é crucial para obter partículas com tamanho uniforme, o que facilita a absorção da água e a extração dos açúcares fermentáveis

durante a mosturação. De acordo com Kunze (2004), a espessura ideal da moagem depende do tipo de cerveja que se deseja produzir. Para cervejas de baixa fermentação, como as Lager, a espessura ideal é de cerca de 1 mm, enquanto para cervejas de alta fermentação, como as Ale, a espessura ideal é de cerca de 2 mm.

Briggs et al. (2004) destacam que a moagem deve ser realizada com cuidado, para evitar que os grãos sejam quebrados em tamanhos muito pequenos, o que pode prejudicar a filtração posterior. Além disso, a geração excessiva de pó também deve ser evitada, pois pode causar problemas de estabilidade coloidal na cerveja. Uma moagem incorreta pode levar a problemas como baixa eficiência na extração dos açúcares fermentáveis e dificuldades no processo de filtração após a mosturação e na formação de espuma na cerveja. Na Figura 20, tem-se um exemplo de grãos de malte após passarem pelo processo de moagem.

Figura 20 - Grãos de malte moídos.



Fonte: Domingues (2015).

Outro problema que também pode ocorrer durante o processo de moagem é a oxidação dos grãos de malte, o que pode prejudicar significativamente a qualidade da cerveja. Isso ocorre porque a oxidação pode levar a uma perda de aroma e sabor dos grãos, além de resultar em uma coloração mais escura na cerveja (BRIGGS et al., 2004).

Para evitar a oxidação dos grãos, é recomendável realizar a moagem pouco antes da mosturação, evitando assim a exposição dos grãos moídos ao ar por longos períodos (KUNZE, 2004).

Outra medida importante é o armazenamento adequado dos grãos de malte antes da moagem. Os grãos devem ser armazenados em um ambiente fresco e seco, protegidos da luz e da umidade, para garantir que mantenham suas características originais. (BRIGGS et al., 2004).

Existem diferentes tipos de moinhos utilizados na moagem dos grãos de malte na produção de cerveja. O tipo mais comum é o moinho de rolos, que pode ser de dois ou três

rolos. Este tipo de moinho possui rolos que giram em direções opostas e esmagam os grãos de malte entre eles, produzindo partículas com tamanho uniforme (BRIGGS et al., 2004). Na Figura 21 tem-se um exemplo de um moinho de rolos.

Figura 21 - Moinho de rolos.



Fonte: M&S Industrial (2020).

Outro tipo de moinho utilizado é o moinho de martelo, que utiliza uma série de martelos para esmagar os grãos de malte. Este tipo de moinho é mais utilizado em cervejarias de grande porte, devido à sua capacidade de moer grandes quantidades de malte em um tempo curto (KUNZE, 2004). A Figura 22 traz um exemplo de um moinho de martelos.

Figura 22 - Moinho de martelos.



Fonte: M&S Industrial (2020).

Também há o moinho de disco, que utiliza discos giratórios para moer os grãos de malte. Este tipo de moinho é menos utilizado na produção de cerveja, pois não produz partículas tão uniformes quanto o moinho de rolos (BRIGGS et al., 2004). Na Figura 23 tem-se um exemplo de um moinho de disco.

Figura 23 - Moinho de disco.



Fonte: M&S Industrial (2020).

5.2.3 Mosturação

Segundo Kunze (2004), o processo de mosturação é composto por três etapas principais: a hidratação, o escalonamento e a parada enzimática. Na etapa de hidratação, os grãos de malte são misturados com água quente para que ocorra a absorção de água pelos grãos e a solubilização de substâncias do malte. Na etapa de escalonamento, a temperatura da água é elevada gradualmente para que as enzimas presentes no malte possam atuar em diferentes faixas de temperatura, convertendo o amido em açúcares fermentáveis. Finalmente, na etapa de parada enzimática, a temperatura é elevada para que ocorra a desnaturação das enzimas e a fixação do perfil de açúcares fermentáveis no mosto.

A mosturação é um processo complexo que envolve a interação de diferentes enzimas presentes no malte, responsáveis pela conversão de amido em açúcares fermentáveis. Essas enzimas são ativadas e desativadas em diferentes temperaturas e pHs, por isso, é importante controlar com precisão esses parâmetros durante a mosturação para obter um mosto de alta qualidade (PRIEST; STEWART, 2006). Na Tabela 2 tem-se disposto as condições ótimas de pH e temperatura para diferentes tipos de enzimas e a sua função.

Tabela 2 - Condições ótimas de temperatura e pH para diferentes enzimas.

Enzima	Faixa de temperatura ótima (°C)	Faixa de trabalho de pH	Função
Fitase	30 - 52,2	5,0 - 5,5	Reduz o pH do mosto;
Desramificadora	35 - 45	5,0 - 5,8	Solubilização de amidos
Beta-Glucanase	35 - 45	4,5 - 5,5	Melhora a quebra de goma
Hemicelulase	40 a 45	4,5 a 4,7	Decomposição da hemicelulose para glucanos de baixa e média massa molar
Peptidase	45 - 55	4,6 - 5,3	Produz Amino Nitrogênio Livre (em inglês, <i>Free Amino Nitrogen</i> , FAN)
Protease	45 - 55	4,6 - 5,3	Quebra grandes proteínas que causam turbidez
Dextrinase	40 a 45	4,5 a 4,7	Desagregação do amido para maltose e maltotriose pela desagregação das combinações 1-6
Beta-Amilase	55- 66,1	5,0 - 5,5	Produz maltose
Alfa-Amilase	67,8 - 72,2	5,3 - 5,7	Produz uma variedade de açúcares, incluindo maltose

Fonte: Adaptado de Aboumrad e Barcelos (2015) e Tschope (2001).

O uso de um sistema de aquecimento em estágios durante a mosturação permite ao cervejeiro manipular a composição do mosto de acordo com o tipo de cerveja desejada. Além disso, essa técnica também aumenta a eficiência na remoção de compostos do malte, como extrato e proteínas (GREEN, 2008).

Compreender o comportamento das enzimas é fundamental para ajustar adequadamente os tempos e as temperaturas dos estágios de repouso na mosturação. As principais enzimas na mosturação são as amilases, responsáveis por quebrar o amido em unidades menores. A alfa-amilase atua internamente no grão de malte, convertendo parte dele em dextrinas, enquanto a beta-amilase age sobre essas dextrinas, convertendo-as em açúcares fermentáveis. Além das amilases, as proteases desempenham um papel importante, quebrando as proteínas do malte em aminoácidos. Esses aminoácidos fornecem nutrientes essenciais para a levedura durante a fermentação e afetam a qualidade da espuma e a estabilidade da cerveja. As glucanases são outra classe de enzimas relevantes, responsáveis por degradar os glucanos, polissacarídeos

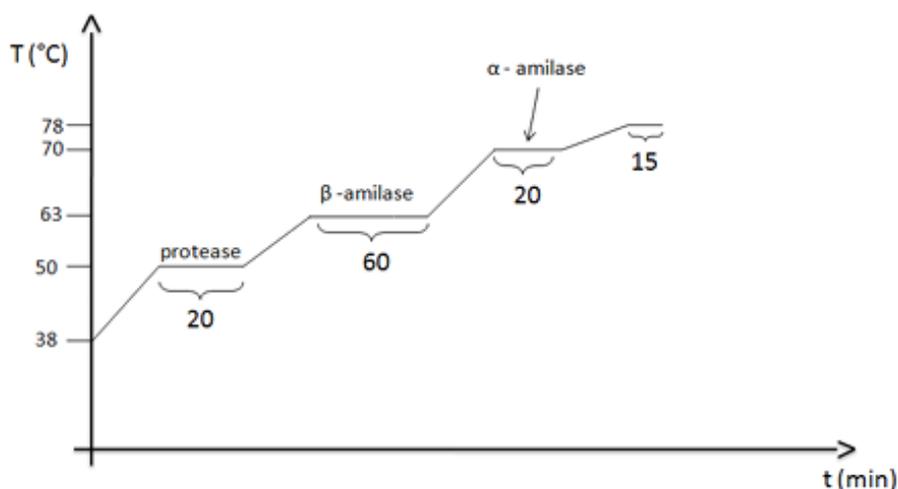
indigestíveis. A presença desses glucanos pode prejudicar a filtrabilidade do mosto, dificultando o processo de clarificação e filtração (BAMFORTH, 2009).

De acordo com Bandinelli (2015), a etapa de mosturação acontece em um tanque conhecido como tina de mosturação ou mosturador. As reações que ocorrem nesse tanque são cuidadosamente controladas seguindo uma curva de temperatura, que consiste em períodos de aquecimento gradual e períodos de estabilização, garantindo a ativação de todas as enzimas relevantes.

Cada estágio de repouso na curva de mosturação corresponde à ação de uma enzima específica sobre um composto do malte, de acordo com a descrição da Tabela 2. A quantidade de estágios, a duração de cada um e as temperaturas utilizadas têm influência direta nas características do mosto, como sua capacidade de fermentação e facilidade de filtragem (MULLER, 1991).

Na Figura 24, tem-se um perfil de rampa de aquecimento aplicado ao processo de produção de uma cerveja Pilsen. Neste exemplo, o tempo de atuação da protease foi de vinte minutos, ocorrendo a 50 °C. Em seguida, a beta-amilase atua por sessenta minutos a uma temperatura de 63 °C, e posteriormente, a alfa-amilase entra em ação durante vinte minutos a 70 °C. Por fim, as enzimas são inativadas a 78 °C (DIAS, 2014).

Figura 24 - Rampa de aquecimento de uma cerveja Pilsen.



Fonte: Dias (2014).

A atividade enzimática é influenciada pela temperatura, e ela aumenta à medida que a temperatura aumenta. No entanto, quando a temperatura ultrapassa esse ponto ideal, ocorre a desativação e perda de atividade enzimática (RODRIGUES, 2021). O processo de mosturação é concluído com a inativação das enzimas presentes no mosto. Após essa etapa, o mosto é submetido ao processo de filtração.

5.2.4 Filtração do mosto

A filtração do mosto após a mosturação é outra etapa essencial no processo de produção de cerveja, com o objetivo de separar os resíduos sólidos do líquido. Essa etapa é realizada para garantir a obtenção de um mosto limpo e livre de impurezas antes da fervura e fermentação.

Segundo Palmer (2017), após a mosturação, o mosto contém não apenas os açúcares necessários para a fermentação, mas também uma série de resíduos sólidos, como cascas de grãos e partículas insolúveis. Portanto, é essencial separar esses sólidos do líquido para obter um mosto adequado para as próximas etapas do processo.

Para realizar a filtração do mosto utiliza-se uma tina de filtração, como a demonstrada na Figura 25, que retém o bagaço através de um fundo falso e filtra o mosto. O líquido obtido, chamado de primeiro mosto, passa por recirculação na tina para remover mais partículas sólidas até ficar menos turvo. Em seguida, é transferido para a caldeira de fervura. A torta resultante é lavada com água quente a 78 °C para extrair açúcares remanescentes entre as cascas, obtendo o segundo mosto (KUNZE, 2004).

Figura 25 – Tina de Filtração.



Fonte: Cervejaria Três Domingos (2018).

É importante mencionar que a filtração do mosto após a mosturação também contribui para a melhoria da qualidade sensorial da cerveja. Segundo Boulton e Quain (2013), a remoção

dos resíduos sólidos pode resultar em uma cerveja com aparência mais cristalina e clara, além de reduzir sabores indesejáveis associados aos sólidos em suspensão.

5.2.5 Fervura

Após a filtração do mosto, inicia-se a etapa de fervura, que desempenha funções cruciais no processo de produção da cerveja. Essa etapa leva em média 60 a 90 minutos, a 100°C. Durante a fervura do mosto, ocorrem diversos processos importantes. De acordo com Oliver (2021), a fervura do mosto tem as seguintes finalidades:

- interrupção de reações enzimáticas, pela inativação de enzimas residuais da mosturação;
- isomerização dos alfa-ácidos de amargor do lúpulo;
- esterilização do mosto;
- remoção de compostos voláteis indesejáveis;
- precipitação de proteínas indesejadas e
- evaporação de parte da água presente no mosto, concentrando o mosto.

O calor da fervura tem o papel de eliminar possíveis bactérias indesejadas, garantindo a esterilização do mosto. Além disso, a fervura também desempenha um papel na coagulação das proteínas presentes no mosto. Durante essa etapa, as proteínas coagulam, formando sedimentos que se depositarão. Essa etapa é essencial para evitar que essas proteínas sejam transferidas para o fermentador, o que poderia causar turbidez indesejada na cerveja (POSSAMAI, 2019).

De acordo com Possamai (2019), a incorporação de especiarias e lúpulos é realizada com objetivos específicos, como conferir amargor, sabor ou aroma. Para cada um desses propósitos, há um intervalo de tempo específico, necessário para que essas características sejam desenvolvidas.

Quando o mosto é fervido com lúpulos, seus alfa-ácidos isomerizam, o que resulta em solubilidade, permitindo que sejam incorporados ao mosto (OLIVER, 2021). De acordo com Palmer (2017), quanto mais tempo o lúpulo ficar em ebulição, maior será a extração dos alfa-ácidos e maior será o amargor resultante. Porém, os óleos essenciais presentes no lúpulo são voláteis e podem ser perdidos durante a fervura prolongada. Por esse motivo, outra adição do lúpulo é feita geralmente nos últimos 15 a 20 minutos da fervura, para extrair mais óleos essenciais, que contribuem para o sabor e o aroma da cerveja. Na Tabela 3, tem-se um exemplo de adição de lúpulo em diferentes momentos da fervura, de acordo com a finalidade.

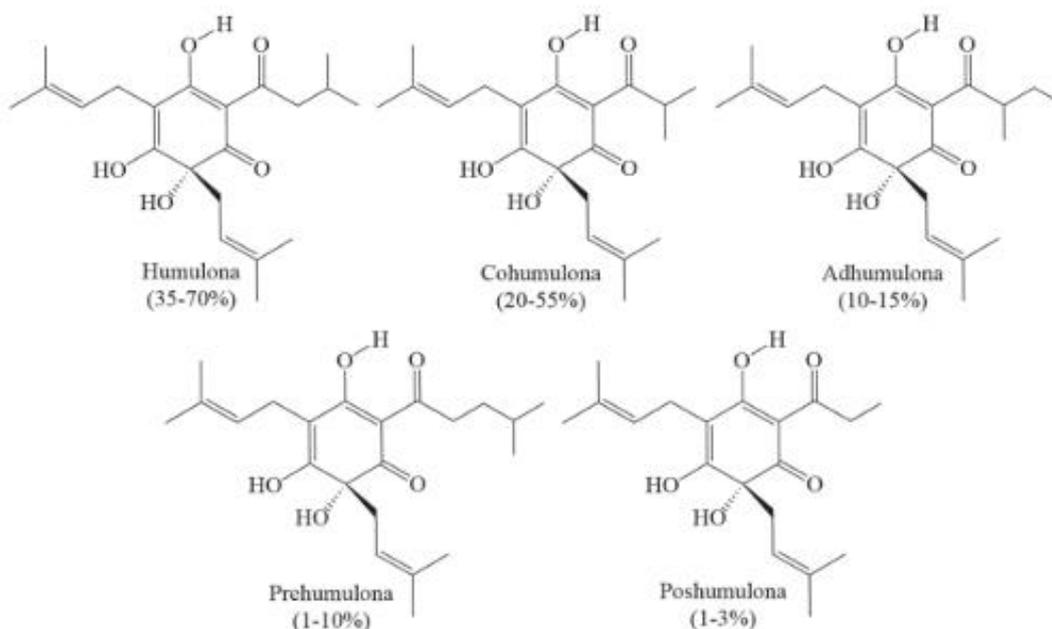
Tabela 3 - Tempo para realizar lupulagem na fervura.

Finalidade	Tempo para o fim da fervura (min)
Amargor	45 a 90
Sabor	20 a 40
Aroma	0 a 15

Fonte: Palmer (2017).

A fração dos alfa-ácidos é constituída por cinco humulonas análogas em uma mistura, com a humulona sendo o principal componente (35-70% do total de alfa-ácidos), seguida pela cohumulona (20-55%), adhumulona (10-15%), prehumulona (1-10%) e poshumulona (1-3%) (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019). A Figura 26 apresenta a estrutura química dos principais alfa-ácidos encontrados no lúpulo.

Figura 26 - Estruturas químicas dos principais alfa-ácidos (humulonas) do lúpulo.

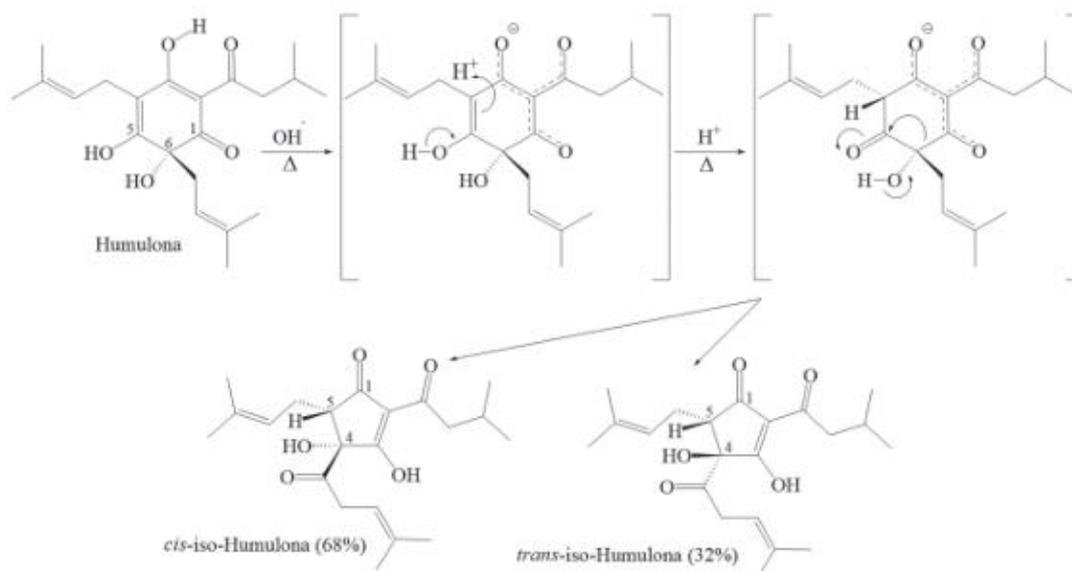


Fonte: Verzele e Keukeleire (2013).

Dentro da cerveja, as cis-iso-humulonas assumem o papel de moléculas-chave responsáveis pelo sabor amargo característico da bebida, apresentando maior amargor em

comparação às trans-iso-humulonas. O processo de isomerização pode ser visualizado na Figura 27 (DURELLO; SILVA; BOGUSZ, 2019).

Figura 27 - Representação da reação de isomerização da humulona em cis/trans-iso-humulonas.

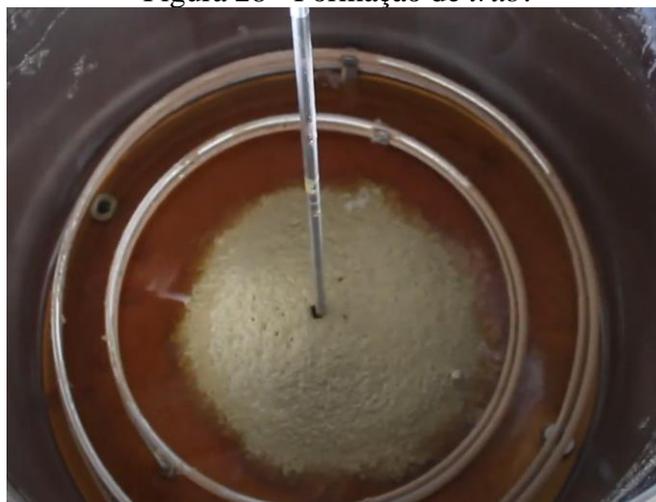


Fonte: Durello; Silva e Bogusz (2019).

Ainda conforme Durello, Silva e Bogusz (2019), durante o processo de fervura, é comum encontrar um pH entre 5,0 e 5,3, embora variações possam ocorrer devido à composição da água cervejeira e ao tipo de malte utilizado, podendo chegar a variações de pH de 4,9 a 5,6.

5.2.6 Whirlpool e Resfriamento

Fontoura (2020) destaca a importância da clarificação do mosto na produção de cerveja. Substâncias indesejadas, como álcoois de cadeia longa e ésteres, podem comprometer a qualidade da cerveja. O processo de clarificação mais comum é o *whirlpool*, no qual o mosto é submetido a uma decantação hidrodinâmica no tanque de fervura. O mosto é direcionado para um tanque circular com entrada tangencial em alta velocidade. Isso separa as impurezas do mosto por efeito centrífugo, gerando um resíduo sólido chamado *trub*. Antes de resfriar o mosto, é necessário remover o *trub* para evitar problemas na qualidade da cerveja. A Figura 28 ilustra a deposição do *trub* no centro do tanque.

Figura 28 - Formação de *trub*.

Fonte: Bier Brauer (2018).

Após o processo de fervura e *whirlpool*, o mosto geralmente fica em uma faixa de temperatura entre 80-90 °C. É necessário resfriá-lo antes de adicionar a levedura para evitar a inativação das células vivas (VOGEL, 2003).

De acordo com Zago (2018), as temperaturas adequadas para a incorporação das leveduras com segurança variam dependendo do seu tipo, relacionado ao estilo de cerveja a ser produzido. Geralmente, as leveduras são incorporadas na cerveja em temperaturas próximas a 30 °C, podendo variar de acordo com o tipo de levedura utilizada.

Durante a fervura, o calor inibe o crescimento de bactérias e leveduras presentes no ambiente, porém, à medida que o mosto esfria, ele se torna suscetível a danos causados pela oxidação e caso ocorra contaminação do líquido por microrganismos, todo o lote de cerveja estará comprometido e precisará ser descartado. Nesse sentido, a prioridade dessa etapa é resfriar o mosto o mais rápido possível, idealmente abaixo de 30 °C, para evitar a oxidação e contaminação do líquido. Em microcervejarias, essa etapa de resfriamento é frequentemente realizada utilizando trocadores de calor que usam água gelada ou água natural. No entanto, para produções em menor escala, é possível adotar métodos mais simples, como o resfriamento por imersão em um banho de água fria (PALMER, 2017). Um tipo de trocador de calor muito utilizado nas cervejarias é o de placas, como demonstrado na Figura 29.

Figura 29 - Trocador de calor do tipo placas.



Fonte: Serinox (2023).

5.2.7 Fermentação

Para iniciar o processo de fermentação da cerveja, a preparação das leveduras é fundamental. Essa etapa é realizada por meio do *Starter*, que consiste em uma fermentação em pequena escala com o propósito específico de ativar e multiplicar as leveduras inoculadas e, assim, garantir uma fermentação saudável do mosto cervejeiro. Através do *Starter*, busca-se criar um ambiente propício para o desenvolvimento das leveduras antes de adicioná-las ao lote principal de fermentação. Durante o processo de *Starter*, as leveduras são colocadas em um meio de cultivo adequado, geralmente contendo água, extrato de malte e nutrientes, em condições controladas de temperatura e aeração. Nesse ambiente favorável, as leveduras entram em atividade e começam a se multiplicar, aumentando sua população e se preparando para a fermentação do mosto. Ao fortalecer e ativar as leveduras por meio do *Starter*, os cervejeiros podem garantir uma fermentação mais eficiente e completa do mosto, resultando em uma cerveja final com melhores características sensoriais e maior estabilidade (SILVA, 2016).

De acordo com Rosa e Afonso (2015), após o resfriamento, o mosto é inoculado com leveduras e transferido para grandes recipientes conhecidos como fermentadores ou dornas. Nesses recipientes, as leveduras consomem os carboidratos fermentáveis presentes no mosto, resultando na produção principalmente de etanol e CO_2 , como demonstrado na Equação 1. Além disso, como subprodutos, também são produzidos ésteres (como acetato de etila, acetato de isoamila e acetato de n-propila), ácidos (como ácido acético e ácido propiônico) e álcoois

superiores (como 1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol). Esses compostos contribuem para os atributos sensoriais da cerveja, fornecendo aromas e sabores distintos. Na Figura 30, tem-se um exemplo de um tanque de fermentação.



Figura 30 - Tanque de fermentação.

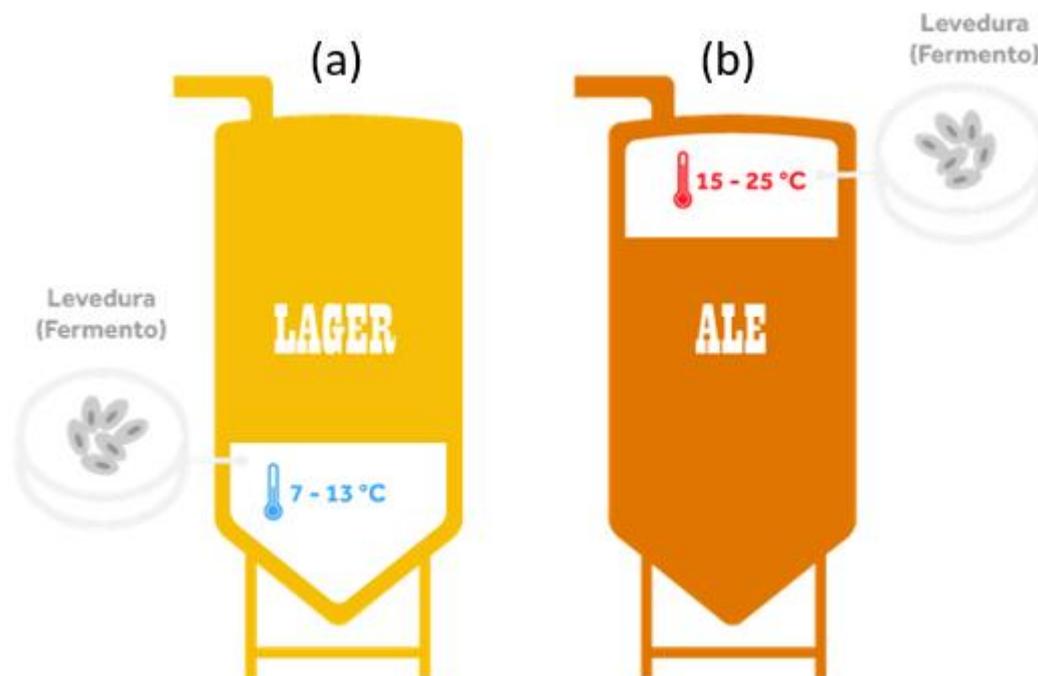


Fonte: Trammit Medical (2023).

A classe de cervejas Ale, conhecida como cervejas de alta fermentação, é produzida utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* em temperaturas que variam de 15 a 25 °C, com um tempo de fermentação curto, próximo de sete dias (VIDGREN et al., 2010). Nessas cervejas, as leveduras tendem a se acumular na superfície, resultando em concentrações elevadas de ésteres e outros compostos aromáticos, o que contribui para a complexidade das características sensoriais do produto (ESTEVINHO, 2015).

Em contraste, as cervejas Lager, conhecidas como cervejas de baixa fermentação, geralmente possuem um perfil aromático mais leve e são produzidas utilizando a levedura *Saccharomyces pastorianus*, em temperaturas que variam de 7 a 13 °C, com um tempo de fermentação mais longo, variando de semanas até meses (VIDGRGEN et al., 2010). A Figura 31 apresenta a localização da atividade das leveduras no tanque de fermentação, juntamente com as faixas de temperatura ideais para cervejas Lager e Ale, respectivamente.

Figura 31 - Tanques de fermentação com a localização da atividade das leveduras para cervejas (a) Lager e (b) Ale.



Fonte: Adaptado de Araújo (2018).

De acordo com Oliver (2021), a gestão eficiente da fermentação na produção de cerveja é determinante e depende de vários fatores interligados, como a concentração de oxigênio, a qualidade e quantidade de levedura, o controle preciso da temperatura, o tempo de fermentação e o tipo de fermentador utilizado. O teor de oxigênio no mosto desempenha um papel importante no crescimento inicial da levedura. O excesso de oxigênio pode afetar o sabor da cerveja ao promover um crescimento excessivo da levedura, prejudicando a produção de álcool, pelo desequilíbrio de crescimento celular, enquanto a baixa disponibilidade de oxigênio pode resultar em uma fermentação incompleta.

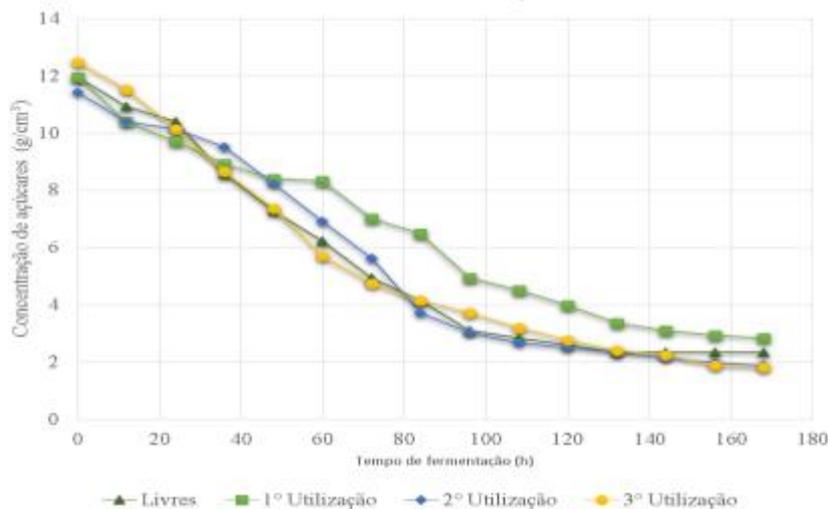
A fermentação do mosto é composta por duas etapas distintas. Na primeira etapa, chamada de fase aeróbia, as leveduras se reproduzem e sua quantidade aumenta de 2 a 6 vezes. Em seguida, inicia-se a fase anaeróbia, na qual as leveduras realizam a fermentação propriamente dita, convertendo os açúcares fermentáveis presentes no mosto em dióxido de carbono (CO₂) e álcool (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

De acordo com o Portal Cerveja Henrik Boden (2009), quando o nível de açúcar diminui, ou seja, quando a fermentação da cerveja finaliza, as leveduras se agrupam e sedimentam no fundo do fermentador. A levedura floculada está dormente, não morta, e pode ser reativada se mais açúcares forem adicionados.

Ao final da fermentação, a levedura passa por um processo de tratamento e pode ser armazenada para ser reutilizada em futuros processos de fermentação na produção de cerveja, e pode ser comercializada para a indústria de alimentos (SANTOS; RIBEIRO, 2005). Cervejeiros comerciais reinoculam a levedura por vários ciclos antes de substituí-la, embora ao longo do tempo possam ocorrer mudanças nas características e queda na viabilidade e vitalidade (OLIVER, 2021).

De acordo com Oliver (2021), o progresso da fermentação é monitorado pela queda da densidade e aumento do teor alcoólico. À medida que as leveduras convertem os açúcares em álcool, e a fermentação avança, a densidade diminui gradualmente e o teor alcoólico da cerveja aumenta. A Figura 32 ilustra a variação da densidade do mosto ao longo dos dias durante a fermentação de uma cerveja Cream Ale.

Figura 32 - Densidade do mosto em função dos dias de fermentação para uma cerveja Cream Ale.



Fonte: Silva; Souza e Pinheiro (2021).

A fermentação é um processo exotérmico, e o controle do calor gerado é importante. Na produção de cerveja, a fermentação ocorre em tanques refrigerados, tanto em processos industriais quanto artesanais. Os tanques industriais possuem uma camisa externa por onde circula um fluido refrigerante, enquanto os fermentadores artesanais são recipientes fechados com dispositivos para liberar o ar, como *airlocks* ou válvulas. Isso evita o acúmulo de dióxido de carbono e garante um ambiente controlado durante a fermentação (PALMER, 2017).

Após a fermentação, o mosto fermentado, também conhecido como cerveja verde, possui várias características da cerveja final. No entanto, antes de ser envasada, algumas medidas precisam ser tomadas para carbonatar a bebida, garantir sua qualidade e adicionar características organolépticas (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

5.2.8 Maturação

Na maturação algumas substâncias na cerveja, como o acetaldeído, cetonas (diacetil, pentanediona), dimetil sulfito, entre outras, passam por alterações. Isso ocorre quando não há mais açúcares disponíveis no mosto para as leveduras, levando-as a reprocessar esses subprodutos gerados durante a fermentação. Esse reprocessamento contribui para a evolução das características da cerveja, resultando em mudanças nos sabores, aromas e outros aspectos da bebida (MATOS, 2011).

O início da fase de maturação não significa o fim da fermentação. Neste ponto, vários subprodutos da fermentação são produzidos na cerveja, como é o caso do acetaldeído e diacetil. Antes de estar pronta para beber, a cerveja precisa de um período de maturação para permitir que as leveduras limpem esses compostos e para isso, elas devem estar ativas. A agitação do fermentador pode manter as células de levedura ativas, mas elas ainda envelhecem e podem levar tempo para consumir açúcares e subprodutos indesejáveis. Para evitar isso, é importante equilibrar a taxa de inóculo e a composição do mosto. Para que o processo de maturação ocorra mais rapidamente é necessário elevar a temperatura no fim da fase de alto crescimento, uma vez que a atividade da levedura é diretamente afetada por esse parâmetro. Para uma cerveja Lager, a temperatura deve ser aumentada em 8 a 10 °C com duração de 6 até 12 dias e para uma cerveja Ale, a temperatura deve ser aumentada em 3 a 6 °C com duração de 4 até 8 dias para a finalização da maturação (PALMER, 2017).

Após esse período, a cerveja irá passar por um processo de condicionamento a frio (*lagering*), onde ela será resfriada para temperaturas próximas de 0 °C em torno de uma semana. Durante esse processo, ocorre a estabilização de compostos como polifenóis e proteínas, os quais precipitam em baixas temperaturas. Essa etapa também permite a clarificação da cerveja, uma vez que as leveduras irão flocular e sedimentar no tanque de maturação (KUNZE, 2004).

5.2.9 Acabamento

A etapa de acabamento da cerveja envolve a clarificação, carbonatação, modificação de aroma e sabor, padronização de cor e pasteurização. Embora a sequência mencionada seja comum em grandes indústrias, esse processo pode variar de acordo com o tipo de produção (caseira, artesanal, microcervejarias ou grandes cervejarias) e o estilo de cerveja desejado. Por exemplo, na produção artesanal, a maturação e gaseificação podem ocorrer simultaneamente durante uma segunda fermentação, enquanto cervejas de trigo podem ser menos filtradas para

manter uma característica rústica. Essa flexibilidade demonstra a capacidade de personalização da cerveja para obter diferentes estilos e resultados (MATOS, 2011).

A modificação de aroma e sabor envolve ajustes finos através da adição de ingredientes como lúpulo, especiarias ou frutas e técnicas de fermentação específicas para criar uma experiência sensorial única, enquanto a padronização de cor é realizada por meio do uso de maltes de diferentes tonalidades na mosturação ou adição de corantes naturais, buscando garantir a aparência visual adequada da cerveja de acordo com o estilo desejado. Nas subseções abaixo, serão abordados brevemente os tópicos de clarificação, carbonatação e pasteurização, visto que são os processos comumente utilizados no acabamento da cerveja.

5.2.9.1 Clarificação

Após o processo de maturação, a cerveja pode passar por uma etapa de filtração, que tem como objetivo eliminar partículas menores em suspensão, resultando em uma cerveja cristalina, brilhante e transparente. De acordo com Reitenbach (2010), teoricamente, a filtração não altera a composição e o sabor da cerveja. Além disso, a filtração contribui para aumentar a estabilidade microbiológica e físico-química da cerveja, uma vez que as leveduras em suspensão são removidas, juntamente com alguns compostos que não decantaram.

Conforme destacado por Pollock (1987), os filtros utilizados nas indústrias de cervejas e bebidas são conhecidos como "filtros de clarificação" e são empregados para separar sólidos com baixa concentração nos líquidos, não ultrapassando 0,1%. Esses filtros desempenham um papel significativo na obtenção de uma cerveja límpida e transparente, ao removerem partículas que podem afetar a aparência e a qualidade do produto.

Os filtros de terra diatomácea (Figura 33) são os tipos mais comumente utilizados pelas cervejarias. Esses filtros podem ser compostos por placas dispostas de forma vertical ou horizontal. Eles desempenham um papel crucial na remoção de partículas da cerveja, ajudando a obter um produto de alta qualidade e claridade (VENTURI FILHO, 2000).

Figura 33 - Filtro de terra diatomácea.



Fonte: Serra inox (2023).

Miotto et al. (2021), destacam que o sistema de filtração por membranas é uma solução eficiente para a clarificação de cervejas, além também de trazer benefícios sustentáveis. Uma das principais vantagens das membranas é a eliminação do uso de terra de diatomáceas, o que resulta em economia de recursos relacionados ao descarte e tratamento deste resíduo, além de evitar os riscos associados ao manuseio dessa substância. A microfiltração e a ultrafiltração, processos realizados por meio das membranas, podem ser uma alternativa de esterilização a frio, ao mesmo tempo em que clarificam a bebida. Dessa forma, o sistema de filtração por membranas permite reduzir a necessidade de etapas separadas para filtração e pasteurização, otimizando o processo de produção de cervejas.

5.2.9.2 Carbonatação

De acordo com Matos (2011), a gaseificação da cerveja pode ser realizada por meio da injeção forçada de dióxido de carbono (CO_2). Na indústria cervejeira, é comum utilizar o CO_2 que foi produzido durante a fase de fermentação, tratado e reservado para essa finalidade.

A técnica do *priming* é utilizada em produções artesanais de cerveja, consistindo na adição de açúcar à cerveja não filtrada antes do envase. O açúcar passa por um processo de inversão para facilitar a fermentação pelas leveduras. Durante a fermentação na garrafa fechada, as leveduras convertem o açúcar em CO_2 , gerando pressão e carbonatando a cerveja. Existem dois momentos para realizar o *priming* na cerveja: antes da maturação, permitindo que ocorra junto com essa etapa na garrafa, ou após a maturação. Ambas as técnicas oferecem flexibilidade ao cervejeiro para obter o resultado desejado (MATOS, 2011).

Ainda conforme Matos (2021), também é possível adotar uma técnica similar ao *priming*, porém sem a adição de açúcar. Essa técnica é a utilização de um sistema que mantém

a cerveja sob pressão de dióxido de carbono (CO₂) dentro do tanque de maturação. Dessa forma, a cerveja não perde todo o gás que foi gerado durante a fermentação, permitindo acumular uma quantidade adicional produzida no próprio tanque de maturação.

Após o processo mencionado acima, se a cerveja não atingir a pressão adequada para o envase, é comum adicionar dióxido de carbono (CO₂) de forma forçada. Algumas empresas optam por injetar dióxido de carbono (CO₂) na cerveja, independentemente da sua capacidade natural de produzir gás, e, em seguida, mantêm-nas em tanques pressurizados. Além disso, algumas cervejarias ocasionalmente utilizam injeções de gás nitrogênio para favorecer a formação de espuma (SANTOS, 2005).

A temperatura e a pressão têm um impacto significativo no processo de carbonatação da cerveja. De acordo com Oliver (2021), a solubilidade do CO₂ na cerveja aumenta com a diminuição da temperatura e o aumento da pressão. Em temperaturas mais baixas e pressões mais elevadas, a cerveja pode reter uma maior quantidade de CO₂ em solução, resultando em uma carbonatação mais intensa. A Figura 34, mostra as condições de temperatura e pressão para carbonatação forçada dependendo do tipo de cerveja fabricada.

Figura 34 - Temperatura e pressão para carbonatação forçada.

		Pressão (psi e kg/cm ²)																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
°C	-1.1	1.82	1.92	2.03	2.14	2.25	2.36	2.48	2.60	2.70	2.82	2.93	3.02	3.13	3.24	3.35	3.46	3.57	3.67	3.78	3.89	4.00	4.11	4.22	4.33	4.44	4.55	4.66	4.77	4.87	4.98
	-0.6	1.78	1.88	2.00	2.10	2.20	2.31	2.42	2.54	2.65	2.76	2.86	2.96	3.07	3.17	3.28	3.39	3.50	3.60	3.71	3.82	3.93	4.03	4.14	4.25	4.35	4.46	4.57	4.68	4.78	4.89
	0.0	1.75	1.85	1.95	2.05	2.15	2.27	2.38	2.48	2.59	2.70	2.80	2.90	3.00	3.11	3.21	3.31	3.42	3.52	3.63	3.73	3.84	3.94	4.04	4.15	4.25	4.36	4.46	4.57	4.67	4.77
	0.6	1.71	1.81	1.91	2.01	2.10	2.23	2.33	2.43	2.53	2.63	2.74	2.84	2.96	3.06	3.15	3.25	3.35	3.46	3.56	3.66	3.76	3.87	3.97	4.07	4.18	4.28	4.38	4.48	4.59	4.69
	1.1	1.68	1.78	1.86	1.97	2.06	2.18	2.28	2.38	2.48	2.58	2.69	2.79	2.90	3.00	3.09	3.19	3.29	3.39	3.49	3.59	3.69	3.79	3.90	4.00	4.10	4.20	4.30	4.40	4.50	4.60
	1.7	1.63	1.73	1.83	1.93	2.02	2.14	2.24	2.34	2.43	2.52	2.63	2.73	2.83	2.93	3.02	3.12	3.22	3.32	3.42	3.52	3.62	3.72	3.82	3.92	4.01	4.11	4.21	4.31	4.41	4.51
	2.2	1.60	1.69	1.79	1.88	1.98	2.09	2.19	2.29	2.38	2.47	2.57	2.67	2.77	2.86	2.96	3.05	3.15	3.24	3.34	3.43	3.53	3.63	3.72	3.82	3.92	4.01	4.11	4.21	4.31	4.40
	2.8	1.55	1.65	1.74	1.84	1.94	2.04	2.14	2.24	2.33	2.42	2.52	2.62	2.71	2.80	2.90	3.00	3.09	3.18	3.27	3.37	3.46	3.56	3.65	3.75	3.84	3.94	4.03	4.13	4.22	4.32
	3.3	1.52	1.61	1.71	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.29	2.38	2.48	2.57	2.66	2.75	2.85	2.94	3.03	3.12	3.21	3.30	3.40	3.49	3.59	3.68	3.77	3.87	3.96	4.06	4.15	4.24
	3.9	1.49	1.58	1.67	1.77	1.86	1.96	2.06	2.15	2.25	2.34	2.43	2.52	2.61	2.70	2.80	2.89	2.98	3.07	3.16	3.25	3.34	3.44	3.53	3.62	3.71	3.81	3.90	3.99	4.08	4.18
	4.4	1.47	1.56	1.65	1.74	1.83	1.92	2.01	2.10	2.20	2.30	2.39	2.47	2.56	2.65	2.75	2.84	2.93	3.01	3.10	3.19	3.28	3.37	3.46	3.55	3.64	3.73	3.82	3.91	4.01	4.10
	5.0	1.43	1.52	1.61	1.70	1.79	1.88	1.97	2.06	2.16	2.25	2.34	2.43	2.52	2.60	2.70	2.79	2.88	2.96	3.05	3.14	3.23	3.32	3.41	3.50	3.59	3.68	3.77	3.86	3.95	4.04
	5.6	1.39	1.48	1.57	1.66	1.75	1.85	1.94	2.02	2.12	2.21	2.30	2.39	2.48	2.56	2.65	2.74	2.83	2.91	3.00	3.09	3.18	3.26	3.35	3.44	3.53	3.62	3.70	3.79	3.88	3.97
	6.1	1.37	1.46	1.54	1.63	1.72	1.81	1.90	1.99	2.08	2.17	2.26	2.34	2.43	2.52	2.61	2.69	2.78	2.86	2.95	3.04	3.13	3.21	3.30	3.39	3.47	3.56	3.65	3.74	3.82	3.91
	6.7	1.35	1.43	1.52	1.60	1.69	1.78	1.87	1.95	2.04	2.13	2.22	2.30	2.39	2.47	2.56	2.64	2.73	2.81	2.90	2.99	3.07	3.10	3.24	3.33	3.41	3.50	3.58	3.67	3.76	3.84
	7.2	1.32	1.41	1.49	1.58	1.66	1.75	1.84	1.91	2.00	2.08	2.17	2.26	2.34	2.42	2.51	2.60	2.69	2.77	2.86	2.94	3.02	3.11	3.19	3.28	3.36	3.45	3.53	3.62	3.70	3.79
	7.8	1.28	1.37	1.45	1.54	1.62	1.71	1.80	1.88	1.96	2.04	2.13	2.22	2.30	2.38	2.47	2.55	2.64	2.72	2.81	2.89	2.98	3.06	3.15	3.23	3.31	3.40	3.48	3.57	3.65	3.74
	8.3	1.26	1.34	1.42	1.51	1.59	1.68	1.76	1.84	1.92	2.00	2.09	2.18	2.26	2.34	2.42	2.50	2.59	2.67	2.76	2.84	2.93	3.02	3.09	3.18	3.26	3.35	3.43	3.51	3.60	3.68
	8.9	1.23	1.31	1.39	1.48	1.56	1.65	1.73	1.81	1.89	1.96	2.05	2.14	2.22	2.30	2.38	2.46	2.54	2.62	2.71	2.79	2.88	2.96	3.04	3.13	3.21	3.30	3.38	3.46	3.54	3.63
	9.4	1.21	1.29	1.37	1.45	1.53	1.62	1.70	1.79	1.86	1.93	2.01	2.10	2.18	2.25	2.34	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83	2.91	3.00	3.07	3.15	3.23	3.31	3.39	3.47	3.56
	10.0	1.18	1.26	1.34	1.42	1.50	1.59	1.66	1.74	1.82	1.90	1.98	2.06	2.14	2.21	2.30	2.38	2.46	2.54	2.62	2.70	2.78	2.86	2.94	3.02	3.10	3.17	3.25	3.33	3.41	3.49
10.6	1.18	1.26	1.34	1.42	1.49	1.57	1.64	1.71	1.79	1.87	1.95	2.02	2.10	2.18	2.26	2.34	2.42	2.49	2.57	2.65	2.74	2.82	2.90	2.97	3.05	3.13	3.19	3.27	3.34	3.42	
11.1	1.16	1.23	1.31	1.39	1.46	1.54	1.61	1.68	1.76	1.84	1.92	1.99	2.06	2.14	2.22	2.30	2.38	2.45	2.53	2.61	2.68	2.76	2.84	2.92	3.00	3.06	3.13	3.22	3.30	3.37	
11.7	1.14	1.21	1.29	1.36	1.44	1.51	1.59	1.66	1.74	1.81	1.89	1.96	2.03	2.10	2.18	2.26	2.34	2.41	2.49	2.57	2.64	2.71	2.79	2.86	2.94	3.01	3.09	3.16	3.24	3.31	
12.2	1.12	1.19	1.27	1.34	1.41	1.49	1.56	1.63	1.71	1.78	1.86	1.93	2.00	2.07	2.15	2.22	2.30	2.37	2.45	2.52	2.59	2.66	2.74	2.81	2.89	2.96	3.04	3.10	3.17	3.24	
12.8	1.10	1.17	1.24	1.31	1.39	1.46	1.53	1.60	1.68	1.75	1.82	1.89	1.97	2.04	2.12	2.18	2.26	2.33	2.40	2.47	2.54	2.62	2.69	2.76	2.83	2.89	2.97	3.04	3.11	3.18	
13.3	1.07	1.15	1.22	1.29	1.36	1.43	1.50	1.57	1.65	1.72	1.79	1.86	1.93	2.00	2.08	2.15	2.22	2.29	2.36	2.43	2.50	2.57	2.64	2.71	2.78	2.85	2.92	2.99	3.06	3.13	
13.9	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33	1.40	1.47	1.54	1.62	1.70	1.77	1.83	1.90	1.97	2.04	2.11	2.18	2.25	2.32	2.39	2.46	2.53	2.60	2.66	2.73	2.80	2.87	2.94	3.00	3.08	
14.4	1.03	1.10	1.17	1.24	1.30	1.37	1.44	1.51	1.59	1.67	1.74	1.80	1.87	1.94	2.01	2.08	2.15	2.21	2.28	2.35	2.42	2.48	2.55	2.62	2.69	2.75	2.82	2.88	2.95	3.02	
15.0	1.02	1.09	1.16	1.22	1.29	1.36	1.43	1.49	1.56	1.64	1.71	1.77	1.84	1.91	1.98	2.04	2.11	2.17	2.24	2.31	2.38	2.43	2.50	2.57	2.64	2.70	2.77	2.84	2.91	2.97	
15.6	1.01	1.08	1.15	1.21	1.28	1.34	1.41	1.47	1.54	1.62	1.68	1.75	1.82	1.88	1.95	2.01	2.08	2.14	2.21	2.27	2.34	2.40	2.47	2.53	2.60	2.66	2.73	2.79	2.86	2.92	
16.1	0.99	1.05	1.12	1.18	1.24	1.31	1.37	1.44	1.50	1.57	1.63	1.69	1.76	1.82	1.89	1.95	2.02	2.08	2.14	2.21	2.27	2.34	2.40	2.47	2.53	2.59	2.66	2.72	2.79	2.85	
16.7	0.96	1.02	1.09	1.15	1.21	1.27	1.34	1.40	1.46	1.53	1.59	1.65	1.71	1.78	1.84	1.90	1.97	2.03	2.09	2.15	2.22	2.28	2.34	2.41	2.47	2.53	2.59	2.66	2.72	2.78	
17.2	0.93	0.99	1.06	1.12	1.18	1.24	1.30	1.36	1.42	1.49	1.55	1.61	1.67	1.73	1.79	1.85	1.92	1.98	2.04	2.10	2.16	2.22	2.28	2.35	2.41	2.47	2.53	2.59	2.65	2.71	
17.8	0.91	0.97	1.03	1.09	1.15	1.21	1.27	1.33	1.39	1.45	1.51	1.57	1.63	1.69	1.75	1.81	1.87	1.93	1.99	2.05	2.11	2.17	2.23	2.29	2.35	2.41	2.47	2.52	2.58	2.64	
18.3	0.88	0.94	1.00	1.06	1.11	1.17	1.23	1.29	1.35	1.41	1.46	1.52	1.58	1.64	1.70	1.76	1.82	1.87	1.93	1.99	2.05	2.11	2.17	2.23	2.28	2.34	2.40	2.46	2.52	2.58	
18.9	0.85	0.91	0.97	1.02	1.08	1.14	1.20	1.25	1.31	1.37	1.42	1.48	1.54	1.59	1.65	1.71	1.77	1.82	1.88	1.94	1.99	2.05	2.11	2.16	2.22	2.28	2.34	2.40	2.46	2.51	
19.4	0.83	0.88	0.94	0.99	1.05	1.10	1.16	1.22	1.27	1.33	1.38	1.44	1.49	1.55	1.60	1.66	1.72	1.77	1.83	1.88	1.94	1.99	2.05	2.10	2.16	2.22	2.27	2.33	2.38	2.44	
20.0	0.80	0.85	0.91	0.96	1.02	1.07	1.12	1.18	1.23	1.29	1.34	1.39	1.45	1.50	1.56	1.61	1.67	1.72	1.77	1.83	1.88	1.94	1.99	2.04	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32	2.37	
20.6	0.77	0.83	0.88	0.93	0.98	1.04	1.09	1.14	1.19	1.25	1.30	1.35	1.40	1.46	1.51	1.56	1.62	1.67	1.72	1.77	1.83	1.88	1.93	1.98	2.04	2.09	2.14	2.20	2.25	2.30	
21.1	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.16	1.																					

5.2.9.3 Pasteurização

De acordo com Carvalho (2007), a pasteurização é um processo que visa inativar os microrganismos presentes na cerveja, sendo geralmente realizada a uma temperatura em torno de 70 °C, que é considerada letal para esses microrganismos. Quando a cerveja é engarrafada antes da pasteurização, é comum utilizar câmaras com jatos de vapor seguidos por jatos de água fria, conhecidos como pasteurizadores de túnel (Figura 35). Já quando a pasteurização ocorre antes do engarrafamento, a cerveja passa por trocadores de calor para ser pasteurizada. Esses processos têm como objetivo garantir a segurança e estabilidade microbiológica da cerveja.

Figura 35 - Pasteurizador de túnel.



Fonte: Long Qiang (2023).

Existem dois métodos de pasteurização amplamente utilizados: a pasteurização lenta (*Low Temperature Long Time - LTLT*) e a pasteurização rápida (*High Temperature Short Time - HTST*). Na pasteurização lenta, a cerveja é submetida a baixas temperaturas por um período de aproximadamente 30 minutos, com temperatura em torno de 65 °C, seguida de resfriamento. Já na pasteurização rápida, maiores temperaturas (em torno de 75° C) são aplicadas em um curto intervalo de tempo, geralmente alguns segundos, seguidas de resfriamento em temperaturas mais baixas (BEZERRA, 2019). O uso do método de pasteurização lenta preserva mais as características sensoriais da cerveja, enquanto com a pasteurização rápida, a cervejaria consegue alcançar uma maior vida útil para a cerveja, além de obter ganhos significativos em produtividade.

A pasteurização é uma etapa opcional na produção de cerveja, distinguindo-se do chope, que não é submetido a esse processo. Enquanto o chope tem uma vida útil de aproximadamente 15 dias, a cerveja pasteurizada possui uma durabilidade de cerca de 6 meses (MATOS, 2011).

5.2.10 Envase

O envase é a etapa final do processo de produção da cerveja e engloba várias operações relacionadas ao enchimento das embalagens primárias, que normalmente são garrafas de vidro,

latas de alumínio ou barris. É nessa fase que a cerveja é cuidadosamente transferida para suas respectivas embalagens, devidamente esterilizadas, ficando pronta para ser distribuída e apreciada pelos consumidores (MENEZES, 2018).

Durante o envase da cerveja, é importante garantir a higiene e evitar a contaminação do produto. Para isso, são utilizadas máquinas específicas para o envase, que podem ser combinadas com o processo de carbonatação da cerveja. Essa etapa requer cuidado e limpeza rigorosos, pois a cerveja sai de um ambiente controlado e é exposta ao meio externo, que pode ser potencialmente prejudicial para sua qualidade (MEDEIROS, 2018).

De acordo com Menezes (2018), durante o processo de envase, uma técnica comumente empregada é o enchimento em contra-pressão utilizando CO₂. Essa abordagem tem como objetivo evitar a formação excessiva de espuma e, ao mesmo tempo, expulsar o oxigênio presente na embalagem. A presença de oxigênio pode ser prejudicial tanto do ponto de vista físico-químico, causando oxidação da cerveja, quanto microbiológico, possibilitando o desenvolvimento de micro-organismos indesejados. Caso a cerveja já tenha passado por todos os devidos processos de acabamento, ela já está pronta para ser comercializada após o envase.

6 NOVAS TECNOLOGIAS NO PROCESSO PRODUTIVO

Em resposta à crescente competitividade do mercado, à necessidade de redução de custos e à demanda por novos produtos, as cervejarias estão constantemente buscando por inovações tecnológicas para aprimorar seus processos de produção. A seguir, serão abordadas algumas das novas tecnologias que estão sendo utilizadas nesse setor.

6.1 Leveduras geneticamente modificadas

Pesquisadores da Universidade do Estado do Oregon, nos Estados Unidos da América (EUA), estão explorando o uso de biologia sintética na fabricação de cerveja para criar variedades de bebidas. A equipe desenvolveu uma cepa de levedura geneticamente modificada que aumenta os níveis de tiois, compostos responsáveis pelos aromas tropicais na cerveja, o que permite obter o aroma desejado sem a necessidade de adicionar mais lúpulo. As técnicas de fabricação resultaram em cervejas com perfis aromáticos associados a frutas tropicais, como goiaba, maracujá, manga e abacaxi. Essas novas opções podem proporcionar cervejas diferenciadas e sustentáveis, sem substituir completamente o uso de lúpulo tradicional (FIORATTI, 2022).

6.2 Fermentação *flash*

Alguns cervejeiros têm explorado a utilização de processos contínuos que empregam leveduras imobilizadas em diferentes tipos de suporte. A adoção de um sistema contínuo de fermentação, principalmente na produção de cerveja, traz uma série de vantagens em comparação com o tradicional processo descontínuo. Essas vantagens incluem a redução no tamanho dos equipamentos, a obtenção de um produto com características uniformes e, principalmente, uma significativa diminuição no tempo necessário para a elaboração do produto (REBELLO, 2009).

Uma forma inovadora de melhorar a produtividade na fermentação da cerveja é através da imobilização das leveduras em microesferas e do uso do sistema *flash* (ilustrado na Figura 36), permitindo a fermentação e maturação da cerveja em apenas 2 dias. Com essa melhoria, o tempo de fermentação e maturação é reduzido para 48 a 72 horas, mantendo a qualidade da cerveja. Isso resulta em uma redução de custos diretos e indiretos de produção, como levedura, água, energia e produtos químicos utilizados ao longo do processo. Além disso, esse sistema também diminui o espaço físico necessário, uma vez que a produção ocorre em um único tanque de fermentação, bomba e biorreator (o mosto é recirculado continuamente pelo biorreator,

permitindo a fermentação e maturação da cerveja). Essa abordagem promissora apresenta uma redução de 90% no tempo total de fabricação da cerveja, além de proteger as leveduras de contaminação, uma vez que estão isoladas no sistema, conforme demonstra a Figura 37 (BLASZKOWSKY; PSCHEIDT, 2018).

Figura 36 - Sistema *flash*.



Fonte: Blaszkowsky e Pscheidt (2018).

Figura 37 - Leveduras isoladas em microesferas no biorreator.



Fonte: Brau Akademie (2019).

6.3 Inteligência artificial na produção de cerveja

A inteligência artificial (IA) pode desempenhar um papel fundamental na melhoria da qualidade e eficiência de diferentes setores, oferecendo resultados consistentes e otimizados. De acordo com o Portal USP São Carlos (2023), por meio de uma parceria entre o Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Universidade de São Paulo (USP) e duas *startups* de São Carlos (BR Tecnologia em Bebidas e *Spectra Tech* Pesquisa e Desenvolvimento), um

equipamento foi desenvolvido para analisar de forma precisa e contínua os tanques de fermentação durante todas as etapas de produção. Esse sistema, conforme demonstrado na Figura 38, utiliza sinais infravermelhos que atravessam a cerveja, alimentando um computador com inteligência artificial. A IA interpreta esses sinais, comparando-os com os padrões de qualidade esperados. Com base nessa análise constante, o computador toma decisões em tempo real para ajustar as condições de produção, garantindo que uma cerveja com padrão de qualidade estabelecido seja obtida.

Figura 38 - Demonstração do funcionamento do sistema do equipamento desenvolvido.



Fonte: Portal USP São Carlos (2023).

6.4 Robôs fermentadores (*BioBots*)

Pesquisadores desenvolveram robôs auxiliares para fermentação de cerveja denominados *BioBots*. Esses pequenos robôs, feitos de alginato e nanopartículas de óxido de ferro, envoltos em células de levedura, podem prevenir a contaminação e acelerar o processo de fermentação, reduzindo o tempo de três a nove dias para apenas 12 horas. Os *BioBots* dispensam a filtração e podem ser removidos da mistura usando um campo magnético. No entanto, a higienização dos robôs é um processo demorado, e há a possibilidade de leve alteração no sabor e aceleração do envelhecimento da cerveja. Portanto, seu uso é sugerido em cervejas especiais em pequenos lotes, ao invés de em grandes complexos industriais (CAPARROZ, 2023).

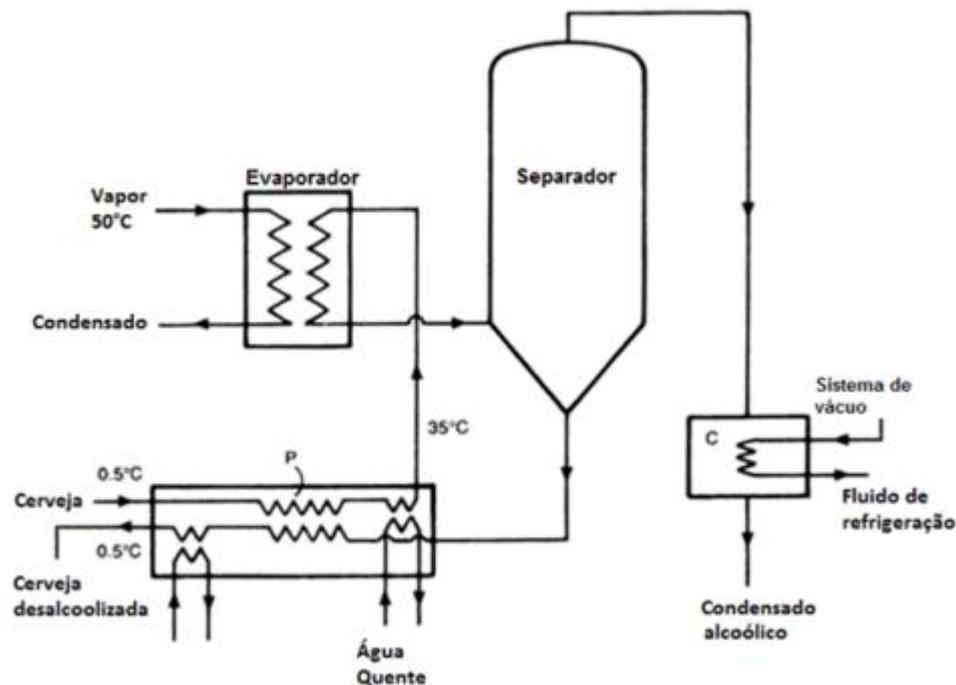
6.5 Cerveja sem álcool

Conforme estabelecido pelo Artigo 38 do Decreto nº 6.871, de junho de 2009, as cervejas com teor alcoólico inferior a 0,5% são classificadas como cervejas sem álcool. Para atender a essa demanda, são empregados métodos especiais que diferem do processo de

fabricação tradicional, proporcionando cervejas com baixo teor alcoólico e sabor diferenciado (MEDEIROS, 2021).

De acordo com Medeiros (2021), um dos métodos utilizados é o processo de fervura, no qual a cerveja passa por uma etapa adicional de aquecimento a altas temperaturas, permitindo que o álcool evapore até atingir o limite mínimo necessário. Esse método simples, embora eficaz, pode alterar o sabor e o aroma da cerveja, pois outros compostos presentes na bebida também podem ser afetados pela exposição ao calor. Outro método é a destilação a vácuo, demonstrado na Figura 39, que envolve a criação de um ambiente de vácuo para reduzir a pressão. Isso faz com que o álcool evapore em uma temperatura mais baixa do que no processo de fervura tradicional, evitando uma exposição prolongada ao calor. Como resultado, as alterações no sabor são geralmente mais sutis, preservando as características originais da cerveja.

Figura 39 - Processo de obtenção de cerveja sem álcool a partir da destilação à vácuo.



Fonte: Venturi Filho (2021).

Um processo alternativo para a produção de cerveja sem álcool é a fermentação interrompida. Nessa abordagem, a fermentação ocorre em temperaturas mais baixas do que o processo convencional, e, logo após o início, a reação é interrompida, permitindo apenas a carbonatação e interrompendo a formação de álcool. Esse método resulta em cervejas com um sabor adocicado, pois os açúcares que normalmente seriam fermentados permanecem na bebida. Um método mais complexo é a osmose reversa, no qual a cerveja é submetida a um

processo de filtração extremamente fino, usando uma membrana semipermeável. Isso retém os componentes do sabor, como aromas e sabores complexos, enquanto a água e o álcool passam pelo filtro. Posteriormente, é realizada uma destilação para remover o álcool, e o líquido restante é reintegrado aos demais ingredientes retidos no filtro. Esse método preserva os compostos de sabor, evitando a exposição a altas temperaturas e minimizando as diferenças de sabor (MEDEIROS, 2021).

6.6 Cerveja *low carb*

As cervejas *low carb* também conhecidas como *light* são classificadas como aquelas que possuem uma redução de mais de 25% no teor calórico em comparação com a cerveja original do mesmo fabricante (DICKEL et al., 2015).

De acordo com Ruschel (2019), existem essencialmente dois métodos principais para produzir cervejas *light*. O primeiro método envolve a diluição da cerveja, resultando em uma cerveja com menor teor calórico e menor teor alcoólico. No entanto, essa técnica pode alterar as características sensoriais da cerveja convencional.

Outro método utilizado é a adição de enzimas externas para compensar as enzimas naturais presentes no malte, melhorando a conversão dos carboidratos e reduzindo seu teor na cerveja (YEO; LIU, 2014).

Para obter cervejas com baixo teor calórico e alcoólico, é possível fazer ajustes no processo de fermentação, como o uso de leveduras imobilizadas ou especiais, além do uso de ingredientes com baixa concentração de açúcar e maltes com alto teor de açúcares fermentáveis (LEITE; CARVALHO; DRUZIAN, 2013).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A história da cerveja é vasta e rica em cultura e remonta a milênios atrás. A descoberta acidental da fermentação dos cereais pelos sumérios marcou o início dessa bebida milenar, que desempenhou um papel importante nas civilizações antigas. A cerveja não apenas tem uma importância econômica significativa, tanto no mercado mundial quanto no mercado nacional, mas também desempenha um papel importante na sociedade, como uma bebida social e de celebração.

Ao explorar os tipos de cerveja, percebe-se a diversidade de sabores e estilos que existem, cada um com características únicas que agradam diferentes paladares. O processo produtivo da cerveja envolve uma série de etapas, desde a seleção das matérias-primas até o envase, e cada uma dessas etapas desempenha um papel essencial na qualidade do produto. A utilização de novas tecnologias no processo produtivo tem se mostrado uma tendência crescente na indústria cervejeira. Essas tecnologias visam aprimorar a eficiência, a qualidade e a consistência do produto, proporcionando benefícios tanto para os fabricantes quanto para os consumidores.

A cerveja transcende sua simples natureza como bebida, tornando-se um produto cultural e econômico que está em constante evolução para atender aos gostos e demandas do mercado contemporâneo. Espera-se que este trabalho seja uma contribuição valiosa para a comunidade acadêmica e para os pesquisadores interessados no estudo dos processos de produção de cerveja, tornando-se uma fonte de consulta para aqueles que queiram conhecer mais este setor industrial.

REFERÊNCIAS

- ABOUMRAD, J. P. C.; BARCELLOS, Y. C. M. **Análise e simulação das operações de mosturação e fermentação no processo de produção de cervejas**. Orientadores: Fernando Cunha Peixoto e Ninoska Isabel Bojorge Ramirez. 2015. TCC (Graduação) - Escola de Engenharia, Engenharia Química, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/1624/Projeto%20Final%20-%20Yvie%20e%20Jean.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 31 mai. 2023.
- ABREU JUNIOR. A. A. D.; VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P. Processo de Produção de Cerveja. **Revista Processos Químicos**. 2009. Disponível em: http://ojs.rpqsena.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/35/26. Acesso em: 11 jun. 2023.
- Academia Artesanal. **Guia completo de maltes**, 2018. Disponível em: <https://academiaartesanal.com.br/guia-completo-de-maltes/>. Acesso em: 01 mai. 2023.
- Aprolúpulo - Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo. **Lúpulo é incluído no programa moderagro e ganha impulso para acelerar crescimento, 2023**. Disponível em: <https://aprolupulo.com.br/noticia/lupulo-e-incluido-no-programa-moderagro-e-ganha-impulso-para-acelerar-crescimento>. Acesso em: 3 ago. 2023.
- AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. M. **Biotechnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2001.
- ARAUJO, H. **Como fazer cerveja? #03 Ingredientes**. Steemit, 2018. Disponível em: <https://steemit.com/pt/@hiarlay/como-fazer-cerveja-03-ingredientes>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- ÁVILA, R. A. et al. Influência da composição mineral da água na qualidade da cerveja. **Ciência e tecnologia de alimentos: o avanço da ciência no Brasil**. Vol. 1. Editora Científica Digital, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220508774.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2023
- BAMFORTH C. W., COOK D. J. **Food, fermentation, and micro-organisms**. Reino Unido: Wiley, 2019.
- BAMFORTH, C. W. **Beer: tap into the art and science of brewing**. New York: Oxford University Press, 2009.
- BAMFORTH, C. W. **Brewing materials and processes: A Practical Approach to Beer Excellence**. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2016.

BANDINELLI, P. C. **Estudo de caso de melhoria no processo de mosturação de uma cervejaria no RS.** Orientador: Profa. Daniele Misturini Rossi. 2015. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/131362/000981589.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 28 mai. 2023.

BARBOSA, L. M. **A produção da cerveja ao longo da história.** Orientador: Prof. Dr. Juliano Alves Dias. 2018. TCC (Tecnólogo) - Técnico em Alimentos Integrado ao Ensino Médio apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Barretos, 2018. Disponível em: <https://brt.ifsp.edu.br/phocadownload/userupload/213354/A%20PRODUO%20DE%20CERVEJA%20AO%20LONGO%20DA%20HISTRIA.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

BarthHass. **Report 2021/2022**, Nuremberg, 2022. Disponível em: <https://www.hops.com.au/downloads/news-events/BarthHaas-Hop-Report-2021-2022.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2023.

Beer Art. **Venda de cerveja cresce 8% em 2022**, 2023. Disponível em: <https://revistabeerart.com/news/vendas-cerveja>. Acesso em: 8 jul. 2023.

BEZERRA G. H. A. **Avaliação do processo de pasteurização da cerveja bacurim.** Orientador: Prof. Dr. Cláudio Costa dos Santos. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3682/2/GustavoHAB_REL.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

Bier Brauer. **Equipamentos para cervejeiros**, 2018. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=CWF7EErV7qw&t=22s&ab_channel=BierBrauerEquipamentosCervejaArtesanal. Acesso em: 05 jun. 2023.

BLASZKOWSKY, J.; PSCHIEDT, R. **A fabricação de cerveja artesanal utilizando sistema flash de fermentação.** 2018. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/fabrica%C3%A7%C3%A3o-de-cerveja-artesanal-utilizando-sistema-johnny-blaszkowsky/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 11 jun. 2023.

BOULTON, C. A.; QUAIN, D. E. **Brewing yeast and fermentation.** Alemanha - Wiley, 2013.

BRASIL. Decreto n. 9.902, de 8 de jul. de 2019. Altera o Anexo ao Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília.

Brau Akademie, “**Fermentação Flash - Parte 2/3.**”, 2019. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=2RhvEO35LPQ&ab_channel=Br%C3%A4uAkademie. Acesso em: 30 jul. 2023.

BRIGGS, D. E.; et al. **Brewing: science and practice**. Reino Unido: Elsevier Science, 2004.

C² Conexão Ciência, **Cerveja é cultura... é ciência**, 2021. Disponível em: <https://conexaociencia.com.br/cerveja-e-cultura-e-ciencia/>. Acesso em: 30 jul. 2023.

CAPARROZ, L. Robôs fermentadores ajudam a produzir cerveja de forma mais eficiente, **Super Interessante**, 2023. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/robos-fermentadores-podem-acelerar-a-producao-de-cerveja#:~:text=Os%20chamados%20BioBots%20s%C3%A3o%20min%C3%BAsculas,fermenta%C3%A7%C3%A3o%20e%20filtra%C3%A7%C3%A3o%20da%20bebida>. Acesso em: 9 jul. 2023.

CARVALHO, L. G. Dossiê Técnico. **Produção de cerveja**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mar. 2007. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc=>. Acesso em: 10 jun. 2023.

Central Brew. **Maltagem**: Aprenda mais sobre esse processo da produção da cerveja, 2023. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/blog/maltagem-aprenda-mais-sobre-esse-processo-da-producao-de-cerveja/>. Acesso em 01 mai. 2023.

CervBrasil. **Dados do setor**, 2018. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/. Acesso em: 20 mai. 2023.

Cerveja Henrick Boden. **Fermentação**, 2009. Disponível em: <http://www.cervejahrenrikboden.com.br/fermentacao/>. Acesso em: 07 jun. 2023.

Cervejaria Três Domingos. **Tina filtro ou tina de Filtração**, 2018. Disponível em: https://www.facebook.com/tresdomingos/photos/tina-filtro-ou-tina-de-filtra%C3%A7%C3%A3o-%C3%A9-respons%C3%A1vel-pela-separa%C3%A7%C3%A3o-das-partes-s%C3%B3-lidas/1740061862713972/?paipv=0&eav=AfZJ0IxK5neYNiAPih6l0wjbNyQNMioWU-U8KQx0Q3mCZti4QXOtLs2_srSX9VEBJw8&_rdr. Acesso em: 03 jun. 2023.

Cervejeiro Raiz. **Malte**: tudo o que você precisa saber, 2019. Disponível em: <http://cervejeiroraiz.com.br/malte-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 03 mai. 2023.

CZECH Brewery System. **Filtro de cerveja de placa**, 2019. Disponível em: <https://www.czechminibreweries.com/pt/production/brewery-components/preparing-beer-for-sale/beer-filtration/plate-filters/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

DIAS, J. **Desenvolvimento e avaliação de uma cerveja contendo chá amargo como substituinte de 50% do lúpulo**. Orientador: Prof. Dr. João Batista de Almeida e Silva. 2014. TCC (Graduação) - Engenharia Bioquímica, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

Disponível em: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MBI14011.pdf. Acesso em 30 jun. 2023.

DICKEL, D. G.; DA SILVEIRA, Orlando Ferreira; MAIRESSE, Julio Cezar; JAHN, Sérgio Luiz. A gestão tecnológica como diferencial competitivo no mercado cervejeiro: prospecção tecnológica aplicada a cervejas com baixo teor calórico – light. **GEINTEC**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 2082-2093, abr. 2015. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/281182837_A_GESTAO_TECNOLOGICA_COM_O_DIFERENCIAL_COMPETITIVO_NO_MERCADO_CERVEJEIRO_PROSPECCAO_TE_CNOLOGICA_APLICADA_A_CERVEJAS_COM_BAIXO_TEOR_CALORICO_-_LIGHT. Acesso em: 09 jul. 2023.

DOMINGUES, F. Produzindo cerveja em casa - Moagem, **Homem Cerveja**, 2015.

Disponível em: <https://www.homemcerveja.com.br/produzindo-cerveja-em-casa-moagem/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

DRAGONE, G.; SILVA, J. B. A. Cerveja, in: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2010.

DURELLO, R.; SILVA, L.; BOGUSZ, S., Jr. Química do lúpulo. **Química nova**, 2019.

ESTEVINHO, Letícia. M. Leveduras e fermentações: O caso da cerveja. **Jornadas de lúpulo e cerveja novas oportunidades de negócios**, vol. 1. Instituto Politécnico de Bragança, p. 53-61, dez. 2015. Disponível em:

<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/11625/3/LivroDeActas.pdf#page=59>. Acesso em: 09 jun. 2023.

Ezbrew. **Principais tipos de malte cervejeiro e suas diferenças**, 2021. Disponível em:

<https://ezbrew.com.br/principais-tipos-de-maltes-cervejeiros-e-suas-diferencas/>. Acesso em: 25 mai. 2023

FIORATTI, C. Levedura de laboratório mantém sabor da cerveja contra mudanças climáticas, **UOL**, set. 2022. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/levedura-de-laboratorio-mantem-sabor-da-cerveja-contra-mudancas-climaticas/>. Acesso em: 8 jul. 2023.

FONTOURA, J. F. G. **Projeto de um sistema de resfriamento de mosto cervejeiro para microcervejarias**. Orientador: Prof. Me. Vanderlei Eckhardt. 2020. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2020. Disponível em:

https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/6061/1/TCC_Jose_Felipe_Garcias_da_Fontoura.pdf. Acesso em: 06 jun. 2023.

GREEN, D. **The science of step sashing**, 2008. Disponível em: <https://byo.com/article/the-science-of-step-mashing/>. Acesso em 28 mai. 2023.

Guia da Cerveja. **Venda de cerveja no Brasil deve crescer 4,5% em 2023**, 2023. Disponível em: <https://guiadacervejabr.com/venda-de-cerveja-no-brasil-deve-crescer-45-em-2023-estima-euromonitor/>. Acesso em: 06 jul. 2023.

HELLWIG, W. A. **Avaliação de um modelo analítico de secagem de grãos aplicado ao processo de secagem de malte em leito fixo profundo**. Orientadora: Profa. Thamy Cristina Hayashi. 2019. TCC (Graduação) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/206479/001113098.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 25 mai. 2023.

ICEX. **El mercado de la cerveza en Brasil**, 2022. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/107/documentos/2022/11/documentos-anexos/DOC2022917304.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2023.

JORGE, É. P. M. **Processamento de cerveja sem álcool**. Orientador: Profa MSc. Maria Isabel Dantas de Siqueira. 2004. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Escola de Administração, Departamento de Matemática e Física, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2004. Disponível em: [https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/8930/material/TCC-Erico%20\(PROCESSAMENTO%20DE%20CERVEJA%20SEM%20%C3%81LCOOL\).pdf](https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/8930/material/TCC-Erico%20(PROCESSAMENTO%20DE%20CERVEJA%20SEM%20%C3%81LCOOL).pdf). Acesso em: 18 mai. 2023.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. Third edition. Berlin: Die Deutsche Bibliothek, 2004.

LEITE, P. B.; CARVALHO, G. B. M.; DRUZIAN, J. I. Tendências tecnológicas para a produção de bebidas alcoólicas com baixo teor alcoólico. **Revista Geintec**, São Cristóvão, v. 3, n. 3, p. 213-220, jan. 2013. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/AESPI-1_204ce48588173d23a619178f3c9d3c02. Acesso em: 09 jul. 2023.

Long Qiang. **Tunnel Pasteurizer**, 2023. Disponível em: <http://cnfoodmachines.com/1-2-6-tunnerl-pasteurizer.html>. Acesso em: 30 jun. 2023.

M&S Industrial. **Para que servem os moinhos?**, 2020. Disponível em: <https://mesindustrial.com.br/tipos-de-moinhos-para-que-servem/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

MAFRA, G. P. **Análise físico-química de cerveja American Lager maturada com pimenta rosa (aroeira)**. Orientadora: Prof. Dra. Magna Angélica dos Santos Bezerra Sousa, Coorientadora: Msc. Jéssica Maria Damião de Arruda Câmara, 2018. TCC (Graduação) - Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

MAPA. **Anuário da cerveja**, 2023. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2022>. Acesso em: 06 jul. 2023.

MATOS, R. A. G. **Cerveja: panorama do mercado, produção artesanal, e avaliação de aceitação e preferência**. Orientador: Jorge Luiz Ninow. 2011. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Santa Catarina, Goiânia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/25472/ragr250.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 jun. 2023.

MEDEIROS, J. C. M. Cervejas sem álcool. **Revista do Clube Naval**, v. 1 n. 397, p. 40-43, jul. 2021. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/clubenaval/article/view/2280>. Acesso em: 09 jul. 2023.

MEDEIROS, V. C. **Avaliação das etapas de brassagem e envase das cervejas produzidas na cervejaria bacurim**. Orientador: Prof. Dr. Álvaro Daniel Teles Pinheiro. 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3687/2/VlagnerCM_MONO.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

MENEZES, C. R. C. **Controle de qualidade em uma cervejaria artesanal: análise de contaminantes do processo de fabricação e eficácia do sistema de clean in place**. Orientador: Profª. Drª. Tatiana Souza Porto. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, Pernambuco, 2019. Disponível em: https://www.repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1412/1/tcc_mariacarolinarafaelcarneirodemenezes.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

MIOTTO, M. et al. Clarificação de cervejas artesanais utilizando processo de separação por membranas. **Brazilian journal of development**, p. 9326–9341, jan. 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23676/19038>. Acesso em: 11 jun. 2023.

MORADO, R. Larousse da Cerveja. **Larousse do Brasil**. 1 ed., São Paulo, 2011.

MULLER, R. **The effects of mashing temperature and mash thickness on wort carbohydrate composition**. J. Inst. Brew., 1991, Vol.97, pp.85-92. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2050-0416.1991.tb01055.x>. Acesso em: 18 mai. 2023.

OLIVEIRA, H., DRUMOND, H. **Brasil Beer: o guia de cervejas brasileiras**. 2a ed. Belo Horizonte-MG: Editora Gutenberg, 2014.

OLIVEIRA, N. M. **Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja.**

Orientador: Prof. Carlos Augusto Rosa. 2011. TCC (Pós-Graduação) - Programa de pós-graduação em microbiologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-99VHHA/1/195.pdf>.

Acesso em: 20 mai. 2023.

OLIVER, G. **O Guia Oxford da cerveja.** Brasil: Editora Blucher, 2021.

Oxford Economics. **Beer's global economic footprint**, 2022. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://worldwidebrewingalliance.org/wp-content/uploads/2022/02/Oxford-Economics-Study-on-the-Economic-Footprint-of-the-Global-Beer-Industry-1.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PALMER, John J. **How to brew: everything you need to know to brew great beer every time.** 4th edition. Boulder: Brewers Publications, 2017.

PIMENTA, L. B.; RODRIGUES, J. K. L. A.; SENA, M. D. D.; CORREA, A. L. A.;

PEREIRA, R. L. G. A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão. **Cadernos de ciência & tecnologia**, Brasília, v. 37, n. 3, 2020. Disponível em:

<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/26715/14788>. Acesso em: 21 mai. 2023.

PINHEIRO, L. G. S. **Caracterização e processamento de cevada cultivada no cerrado brasileiro.** Orientadora: Profa. Dr^a. Grace Ferreira Ghesti. 2016. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em <https://repositorio.unb.br/handle/10482/21655?mode=full>. Acesso em 25 mai. 2023.

Planet Brew, **Carbonatação Forçada**, 2021. Disponível em:

<https://www.planetbrew.com.br/blog/carbonatacao>. Acesso em: 30 jul. 2023.

POLLOCK, J.R.A. **Brewing science.** London: Academic Press. v.3, 1987. 611p.

Portal USP São Carlos. **IA substitui mestre-ervejeiro: Na produção de cerveja da melhor qualidade.** 2023. Disponível em: <http://www.saocarlos.usp.br/ia-substitui-mestre-ervejeiro-na-producao-de-cerveja-da-melhor-qualidade/>. Acesso em: 09 jul. 2023.

PORTO, P. D. **Tecnologia de fabricação de malte** - uma revisão. 2011. Dissertação 58f.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em:

<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/56455?locale=en>. Acesso em: 21 mai. 2023.

POSSAMAI, G. G. **Automatização da fase quente do processo de fabricação de cerveja artesanal caseira.** Orientador: Prof. Dr. Adriano Regis. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1506/TCC%20-%20Gabriel%20G%20Possamai.pdf?sequence=1>. Acesso em: 04 jun. 2023.

PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of brewing**. 2 ed. Estados Unidos: CRC Press, 2006.

REBELLO, F. F. P. Produção de cerveja. **Revista agrogeoambiental**, p 145-155, dez. 2009. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/224/20>. Acesso em 11 jun. 2023.

REITENBACH, A. F. **Desenvolvimento de cerveja funcional com adição de probiótico: Saccharomyces boulardii**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2010. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93745/PEAL0162-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 10 jun. 2023.

RODRIGUES V. C. G. **Otimização do processo de fabrico de mosto de cerveja**. Orientadora: Doutora Conceição Hogg. 2021. Relatório de estágio (Mestrado) - Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa, Engenharia de Alimentos, Porto, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/36237/1/202830837.pdf>. Acesso em 30 mai. 2023.

ROSA, N., AFONSO, J. **A química da cerveja**. Química e Sociedade, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 98-105, maio 2015. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc37_2/05-QS-155-12.pdf. Acesso em: 18 mai. 2023.

RUSHCEL, L. S. **Avaliação da redução de valores calóricos e teores alcoólicos na produção de cerveja artesanal light**. Orientador: Prof. André Luís Catto. 2019. TCC (Graduação) - Engenharia Química, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2019. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/30293af6-d645-46ce-95e9-f2bf092a84e1/content>. Acesso em 09 jul. 2023.

SALIMBENI, J. F.; MENEGUETTI, M. P. D. R. R. D.; ROLIM, T. F. **Caracterização da água e sua influência sensorial para produção de cerveja artesanal**. Orientador: Prof. Ms. José Pedro Thompson Junior. 2016. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco, Campinas, 2016. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2862.pdf>. Acesso em 20 mai. 2023.

SANTOS, M., S. dos.; RIBEIRO, F. de M. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf. Acesso em: 09 jun. 2023.

SANTOS, V. S. **Lúpulo. Características do lúpulo**, 2023. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/curiosidades/lupulo.htm>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SANTOS, V. S. Lúpulo. **Tipos de lúpulo**, 2023. Disponível em:
<https://mundoeducacao.uol.com.br/curiosidades/lupulo.htm>. Acesso em: 20 mai. 2023.

Serinox, **Trocador de calor/resfriamento de mosto**, 2023. Disponível em:
<https://serinox.com.br/c/11/trocador-de-calor-resfriador-de-mosto>. Acesso em 06 jun. 2023.

Serra Inox. **Filtro à terra diatomácea**. Disponível em:
<https://www.serrainox.com.br/produto/1/filtro-a-terra-diatomacea>. Acesso em: 09 jun. 2023.

SILVA, D. **Como inocular corretamente e levedura no mosto cervejeiro**, Condado da Cerveja, 2016. Disponível em: <https://www.condadodacerveja.com.br/como-fazer-corretamente-o-starter-do-fermento/>. Acesso em 1 ago. 2023.

SILVA, H. G. DA; SOUZA, P. G. DE; PINHEIRO, C. L. Estudo da reutilização de leveduras imobilizadas sobre a qualidade da cerveja Cream Ale/ Study on the reuse of immobilized yeasts on the quality of Cream Ale beer. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 43083–43095, 2021.

SILVA, H.S.; LEITE, M.A; PAULA, A.R.V. de. Cerveja e sociedade. Contextos da Alimentação - **Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade**, v.4, p.85-91, 2016. Disponível em: *73_CA_artigo_revisado.pdf (senac.br). Acesso em 10 jun. 2023.

SindCerv. **Vendas de cerveja crescem 8% em 2022**, 2023. Disponível em:
<https://www.sindicerv.com.br/noticias/vendas-de-cerveja-crescem-8-em-2022/>. Acesso em 20 mai. 2023.

SOUSA, L. P. **Análise de viabilidade econômico-financeira de uma microcervejaria artesanal na cidade de Porto Alegre**. Orientador: Prof. Dr. Guilherme Kirch. 2017. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Escola de Administração, Departamento de Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/169903>. Acesso em: 20 mai. 2023.

Trammit Medical. **Tanque fermentador maturador**, Disponível em:
<https://www.trammit.com.br/equipamentos-cientificos/1668-tanque-fermentador-maturador.html>. Acesso em: 07 jun. 2023.

Tripbeer. **Estilos de cerveja**, 2021. Disponível em:
<https://www.tripbeer.com.br/variedades.html>. Acesso em 01 mai. 2023.

TSCHOPE, E. C. **Microcervejarias e cervejarias**. A história, a arte e a tecnologia. Editora Ad. São Paulo, 2001.

VENTURI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. Brasil: Editora Blucher, 2021.

VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de cerveja**. Jaboticabal: Funep, 2000. 83 p.

VERZELE, M.; KEUKELEIRE, D. D. **Chemistry and analysis of hop and beer bitter acids**. [s.l.] Elsevier Science, 2013. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Chemistry_and_Analysis_of_Hop_and_Beer_B/eVTgBAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1. Acesso em: 01 ago. 2023.

VIDGREN, V., MULTANEN, J. P., RUOHONEN, L., & LODESBOROUGH, J. The temperature dependence of maltose transport in ale and lager strains of brewer's yeast. **FEMS yeast research**, res 10, p. 402-41, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/43200232_The_temperature_dependence_of_maltose_transport_in_ale_and_lager_strains_of_brewer's_yeast. Acesso em: 09 jun. 2023.

VOGEL, W. **Elaboración casera de cerveza**. Zaragoza, Espanha: Acribia, 2003.

YEO, H. Q.; LIU, S. Q. An overview of selected specialty beers: developments, challenges and prospects. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Singapura, v. 49, n. 1, p. 1607-1618, dez. 2014. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/114744281/yeo-et-al-2014-international-journal-of-food-science-technology>. Acesso em: 09 jul. 2023.

ZAGO, P. **Estudo de um trocador de calor para produção artesanal de cerveja**. Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Altafini. 2018. TCC (Graduação) - Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/4323/TCC%20Patrick%20Zago.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 05 jun. 2023.