



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Revisão sobre a produção de cerveja sem glúten, com ênfase no uso de sorgo e milhete

Autor: Gabriel de Andrades Ferreira

Orientadora: Débora Jung Luvizetto Faccin

Porto Alegre, dezembro de 2021

Autor: Gabriel de Andrades Ferreira

Revisão sobre a produção de cerveja sem glúten, com ênfase no uso de sorgo e milhete

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química

Orientadora: Débora Jung Luvizetto Faccin

Porto Alegre

2021

AGRADECIMENTOS

Diversas são as pessoas que se fizeram presentes ao longo dessa minha jornada na UFRGS e merecem ser citadas nessa seção, e mesmo sendo injusto tentar citar todas e acabar deixando alguém de fora, alguns agradecimentos precisam ser feitos:

Em primeiro lugar agradecer aos meus pais, José Alceu e Rogene, sem eles me apoiando em todos os momentos e aspectos nada disso teria sido possível.

Agradecer ao meu irmão Guilherme, meu parceiro que esteve comigo e comemorou cada uma das minhas conquistas e superações;

À minha namorada Fernanda, que em diversos momentos de turbulência trouxe a calma e tranquilidade necessárias para atravessa-los.

Agradecer à minha orientadora Débora Faccin, que me guiou e auxiliou ao longo de todo o processo desse trabalho, sempre com muita paciência e compreensão.

Agradeço aos diversos amigos e pessoas queridas que encontrei ao longo do curso, os quais tornaram essa experiência ainda mais memorável, mas em especial agradecer à Bibiana, ao Guilherme e ao Gustavo, pela parceria do primeiro ao último dia de aula e pelas inúmeras situações em que me salvaram. Por último, mas não menos importante, agradecer aos amigos do Ceva Sagu, que foram parte fundamental da base que me ajudou a encarar cada um dos desafios enfrentados ao longo da graduação, uma parceria que levarei para a vida.

RESUMO

Cerca de 1% da humanidade sofre de intolerância ao glúten, o que leva a uma constante demanda por alimentos sem glúten. A cerveja é uma das bebidas alcólicas mais consumidas pela humanidade e é feita a partir de cereais, sendo a cevada, que é rica em glúten, o principal cereal utilizado na sua produção, por isso são poucas as alternativas de cervejas que podem ser consumidas por celíacos. No presente trabalho foi realizada uma revisão de literatura a partir de estudos disponíveis em acervos científicos digitais, buscando identificar os cereais sem glúten que poderiam servir de alternativa à cevada e quais métodos de produção poderiam ser utilizados. A alternativa mais promissora encontrada foi a produção de cerveja a partir de uma combinação de malte de sorgo e malte de milhete, utilizando método de brassagem por decantação em temperaturas mais altas que as usadas para malte de cevada, em função das temperaturas de gelatinização desses cereais.

Palavras-chave: *cerveja sem glúten, malte de sorgo, malte de milhete, intolerância ao glúten*

ABSTRACT

About 1% of mankind suffers from celiac disease, which leads to a constant demand for gluten-free foods. Beer is one of the most consumed beverages around the world and is made from cereals, barley (which is rich in gluten) is the main cereal used in its production, so there are few beer alternatives that can be consumed by celiacs. A literature review was then carried out based on studies available in digital scientific collections, seeking to identify the gluten-free cereals that could serve as an alternative to barley and which production methods could be used. The most promising alternative found was the production of beer from a combination of sorghum malt and millet malt, using the mashing method by decantation at temperatures higher than those used to Barley malt, due to the gelatinization temperatures of those cereals.

Keywords: *gluten free beer, sorghum malt, millet malt, celiac disease*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reações metabólicas simplificadas	11
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais tipos de Malte de Cevada	15
Tabela 2 – Índice de Terminologia do nível de intensidade (ILT)	18
Tabela 3 – Escala do método americano de referência padrão (SRM)	19
Tabela 4 - Principais Tipos de Cervejas Ale e Stouts	19
Tabela 5 - Principais tipos de cervejas Lager	20
Tabela 6 - Avaliação sensorial das cervejas produzidas em laboratório	28
Tabela 7 – Efeitos da temperatura de maltagem e método de brassagem nas propriedades do mosto de sorgo	30

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Conceitos Fundamentais	2
2.1	Glúten	2
2.2	A doença celíaca	2
2.3	Alimentos sem glúten	3
2.4	Cerveja	5
2.5	Produção	5
2.5.1	Processamento	5
2.5.2	Maltagem	6
2.5.2.1	Maceração	6
2.5.2.2	Germinação	7
2.5.2.3	Secagem	7
2.5.3	Produção do Mosto	8
2.5.4	Fermentação (Fermentação Primária)	11
2.5.5	Maturação (Fermentação Secundária)	12
2.5.6	Pós-tratamento	13
2.5.6.1	Clarificação	13
2.5.6.2	Carbonatação	13
2.5.6.3	Pasteurização	14
2.6	Ingredientes	14
2.6.1	Malte	14
2.6.2	Água	16
2.6.3	Lúpulo	16
2.6.4	Levedura	17
2.6.5	Adjuntos	18
2.7	Classificações de Cerveja	18
2.8	Cereais	20
2.8.1	Cevada (<i>Hordeum vulgare</i>)	20
2.8.2	Sorgo (<i>Sorghum bicolour</i>)	21
2.8.3	Milhete (<i>Panicum miliaceum</i>)	21
2.8.4	Arroz (<i>Oriza Sativa</i>)	22
2.8.5	Trigo (<i>Triticum</i>)	22
3	Materiais e Métodos	23
4	Revisão bibliográfica	25
4.1	Produção de cerveja sem glúten a partir da cevada	25
4.1.1	“Aplicabilidade de diferentes tecnologias de cervejaria e tratamentos de minimização de glúten para a produção de cervejas de Malte de cevada sem glúten”	25

4.1.2	Comercialização de cervejas sem glúten	26
4.2	Produção de cerveja sem glúten a partir de cereais alternativos.	27
4.2.1	“Reavaliação do sorgo na produção de cervejas Lager”	27
4.2.2	“Comparativo entre cervejas experimentais produzidas a partir de sorgo, milhete e cevada”	28
4.2.3	Estudos comparativos da α -amilase em milhete, sorgo e milho maltados.	28
4.2.4	“Efeitos da temperatura de maltagem e métodos de brassagem na composição do mosto de sorgo e no sabor da cerveja”	29
4.2.5	“Efeito dos procedimentos de moagem e maceração nas propriedades do mosto de Malte de milhete”	30
5	Discussões e Considerações finais	32
	REFERÊNCIAS	34

1 Introdução

Hoje a cerveja é uma das bebidas mais consumidas no mundo, porém 1 em cada 100 pessoas não podem consumi-la devido à doença celíaca, que causa sérios problemas de inflamações e lesões no trato intestinal após o consumo das proteínas do glúten, que causam má absorção de nutrientes, podendo levar a consequências mais graves como osteoporose, anemia e problemas de pele. A adoção de uma dieta sem glúten é a solução que permite que celíacos garantam a sua qualidade de vida sem serem impactados pela doença, mas para isso é necessário que exista a disponibilidade de alternativas de alimentos produzidos sem glúten. Além dos celíacos, tem-se ainda pessoas que sofrem de sensibilidade não celíaca ao glúten e alergia, aumentando ainda mais o público que necessita de alternativas.

A cerveja é uma bebida alcoólica produzida a partir da fermentação de cereais maltados, cujo principal cereal utilizado é a cevada, um cereal que assim como o trigo é rico em glúten. Outros cereais sem glúten, como sorgo e milhete, podem ser utilizados como malte na produção cervejeira, porém geralmente são utilizados apenas como adjunto cervejeiro para adição de características específicas à cerveja, pois são rotulados como inaptos devido a sua baixa atividade enzimática quando submetidos ao processo produtivo da cerveja.

O método de produção da cerveja a partir do grão *in natura* consiste em 5 etapas: maltagem do grão, produção do mosto, fermentação, maturação e pós-tratamento. Nesse processo o grão é germinado para a produção do malte, que através da atividade enzimática irá produzir o mosto, substrato necessário para a levedura fermentar, produzindo o álcool e as características da cerveja.

O estudo a seguir tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre a possibilidade de utilização de cereais sem glúten na produção de cerveja, visando identificar quais cereais sem glúten estariam aptos e quais métodos de produção seriam necessários para obter um produto final adequado ao consumo do público celíaco e também público em geral.

2 Conceitos Fundamentais

Este capítulo tem como propósito a apresentação de conceitos essenciais à compreensão do processo produtivo da cerveja, do glúten e da doença celíaca.

2.1 Glúten

O glúten é uma mistura de proteínas de armazenamento (majoritariamente prolamina, albumina, globulina e glutelinas) que estão presente em alguns cereais (principais exemplos são trigo, cevada e centeio), sua função está relacionada às propriedades físicas do grão e das massas produzidas a partir dos cereais, como viscosidade, elasticidade, coesão e extensividade. Essas proteínas podem induzir resposta imune no organismo de alguns indivíduos. O glúten presente nos cereais é rico em prolamina, que é composta pelos aminoácidos prolina e glutamina. A prolina desempenha papel importante em celíacos, pois sua presença torna o glúten resistente à degradação proteolítica no trato intestinal, fazendo com que longos fragmentos peptídicos permaneçam no trato intestinal após a digestão (KOEHLER; WIESER; KONITZER, 2014) (CATASSI; FASANO, 2008).

2.2 A doença celíaca

Durante muito tempo o ser humano não foi exposto ao glúten, porém cerca de 5.000 anos atrás, com o início do cultivo de cereais (como trigo e cevada) e seu uso na alimentação, o consumo de glúten aumentou exponencialmente. Entretanto alguns indivíduos acabaram não se adaptando à inclusão do glúten na sua alimentação e apresentaram reações imunológicas a sua ingestão. O físico grego Areteu da Capadócia foi quem registrou os primeiros casos do que hoje é conhecida como doença celíaca (DC), por volta de 100 d.C. ele descreveu a ocorrência de pacientes que problemas intestinais que em alguns casos eram crônicos e causavam casos de debilidade e má formação dos pacientes. Ele nomeou esses pacientes “*koiliakos*” (do termo grego “*koilia*”, que significa abdômen) (KOEHLER; WIESER; KONITZER, 2014).

Foi no ano de 1.888 que o pediatra inglês Samuel Gee registrou a primeira definição clínica da DC, definindo a doença como “um tipo de indigestão crônica, que atinge pessoas de todas as idades, mas especialmente crianças entre 1 e 5 anos de idade”, porém até então só se tinham registros e informações referentes aos sintomas, mas não as causas que desencadeavam a doença. Somente durante a segunda guerra mundial, que o pediatra holandês Willem K. Dicke percebeu um declínio nos casos de DC quando a Holanda sofreu escassez de cereais e pão devido à guerra, ele descreveu que as crianças celíacas se beneficiavam quando trigo, centeio e aveia eram retirados da sua dieta. A partir daí foi possível identificar que o glúten era o componente tóxico para esses pacientes e então foi introduzida a dieta livre de glúten como principal tratamento para os pacientes (KOEHLER; WIESER; KONITZER, 2014).

O avanço dos estudos genéticos permitiu identificar que a DC é uma doença auto imune que possuiu uma forte origem hereditária na sua predisposição, se desenvolvendo de acordo com o consumo de glúten na alimentação e regredindo com a retirada dele da dieta do paciente (FALCHUK; ROAGENTINE; STROBER, 1972). Outros fatores identificados como secundários relacionados ao desenvolvimento da CD (atuam como potencializadores em

quem já possui predisposição) são infecções por alguns patógenos, como adenovírus 12, hepatite C e rotavírus (KOEHLER; WIESER; KONITZER, 2014).

Os aspectos clínicos da doença variam desde casos completamente assintomáticos até casos com sintomas graves. O principal órgão afetado é o intestino delgado, que sofre com lesões e inflamações da mucosa intestinal, porém existem diversos sintomas extra intestinais que possuem aspectos cutâneos, neurológicos e endocrinológicos. Diferentemente do que se espera, pacientes que não apresentam sintomas gastrointestinais graves como indigestão e diarreia são os que apresentam maior potencial de sofrimento com a doença, pois podem sofrer prolongadamente com as consequências da má absorção de nutrientes, como anemia, mau desenvolvimento, osteoporose entre outros (KOEHLER; WIESER; KONITZER, 2014).

A DC atinge cerca de 1 em cada 100 pessoas no mundo (CDF, 2021) e o principal tratamento para celíacos segue sendo a adesão a uma dieta sem glúten ao longo de toda a vida o que evita o surgimento de sintomas, pois mesmo suspendendo a ingestão de glúten por anos, o organismo não desenvolve tolerância ao glúten, levando ao reaparecimento dos sintomas assim que a ingestão ocorre. Existem estudos em andamento que visam medir os impactos no risco de vida e longevidade de celíacos ao aderir a uma dieta livre de glúten, visto que casos graves de DC levam a redução da qualidade e tempo de vida dos pacientes (CATASSI; FASANO, 2008).

2.3 Alimentos sem glúten

Por se tratar de um componente de alimento, que pode impactar negativamente a saúde de um grupo de pessoas (celíacos e alérgicos), é necessário a existência de parâmetros internacionais para a nomenclatura e rotulagem de alimentos com relação a presença ou não de glúten na sua composição. Por isso a Codex Alimentarius Commission (CAC), comissão estabelecida pela OMS (Organização Mundial da Saúde) e pela Agência das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) para promover práticas justas e seguras no comércio de alimentos mundial, estabeleceu o padrão reconhecido internacionalmente para definição de alimentos como “Sem Glúten” (SG), os quais devem cumprir pelo menos um dos seguintes critérios:

- I. Ser feito de um ou mais ingredientes que não contenham trigo (todo o gênero *Triticum*), centeio, cevada, aveia ou suas variedades e que seu nível de glúten não ultrapasse 20 mg/kg (20 ppm) no total, com base no alimento vendido ou distribuído ao consumidor;
- II. Ser feito de um ou mais ingredientes que contenham trigo (todo o gênero *Triticum*), centeio, cevada, aveia ou suas variedades, que tenha sido especificamente processado para a remoção de glúten e que seu nível de glúten não ultrapasse 20 mg/kg (20 ppm) no total, com base no alimento vendido ou distribuído ao consumidor;
- III. Produtos que apresentam níveis de glúten superiores a 20 mg/kg (20 ppm) e inferiores a 100 mg/kg (100 ppm) não se encaixam como SG, mas podem ser rotulados como “low gluten”.

O CAC também estabelece que para serem considerados válidos os níveis de glúten informados, os alimentos precisam ser testados por um método específico, imunoensaio enzimático com o método R5 Mendez (ELISA R5). Só assim um alimento pode se rotular como SG (Codex Alimentarius, 2015). Ao analisar especificamente as cervejas é necessário ressaltar que como os testes ELISA são calibrados com um único padrão de prolaminas o seu resultado em cervejas pode apresentar grande distorção, tanto para mais quanto para menos, na quantidade real de glúten presente. Isso se deve pelo fato de que geralmente são utilizadas mais de um tipo de cevada na produção da cerveja e também nas modificações que as proteínas e enzimas sofrem durante o processo cervejeiro. Essa imprecisão torna necessário que sejam realizados tratamentos para a redução de glúten para que cervejas sejam rotuladas como SG, mesmo que seja comprovado que o processo cervejeiro sem alterações já reduza cerca de 98% do glúten presente, visto que essa redução ainda mantém os níveis de glúten acima dos 20 ppm (GUERDRUM; BAMFORTH, 2012) (HAGER *et al.*, 2014).

2.4 Cerveja

A cerveja está entre as bebidas mais antigas de que se tem registro, sua origem remonta às antigas civilizações da Mesopotâmia (4.000 a.C.), onde se tem os primeiros relatos do consumo e produção de bebidas fermentadas a base de cereais de trigo e cevada. Registros escritos datados do Período Dinástico (3.100-2.686 a.C.) foram encontrados no Egito, indicando que a cerveja era muito importante naquele período e tinha papel relevante na cultura da sociedade, sendo usada inclusive como forma de pagamento por serviços prestados (HORNSEY, 2003).

No decorrer da história, a cerveja seguia com papel importante para as civilizações, sendo promulgadas leis para regulamentação da sua produção. Em 1516 d.C., na Bavária, foi instaurada a Lei da Pureza Alemã (*Reinheitsgebot*) que, além de tabelar os preços do produto no mercado, definia que os únicos ingredientes permitidos para a produção da cerveja eram malte de cevada, lúpulo e água (durante esse período não havia conhecimento sobre a participação da levedura no processo, mas posteriormente a lei foi adaptada para a sua inclusão)(BOULTON, 2013).

Ao longo dos anos, o mercado cervejeiro mundial evoluiu em uma constante, crescendo cerca de 41% desde o ano 2000 (SINDICERV, 2016). O gosto do consumidor e, conseqüentemente, o processo de produção da cerveja, se modificou e amadureceu, abrindo espaço para a utilização de novos ingredientes (como café, mel, frutas, ervas, mix de maltes e tipo de leveduras, entre outros) a fim de oferecer uma nova experiência sensorial para o consumidor, embora os ingredientes-base continuem sendo os mesmos. Esse movimento foi protagonizado pelo surgimento de cervejarias artesanais que, diferente das grandes cervejarias industriais, possuem uma maior liberdade para inovação em seu produto. Esse movimento pode ser observado claramente no mercado cervejeiro do Estados Unidos, no qual as cervejarias industriais apresentaram crescimento, em 2015, de cerca de 0,2% no total, enquanto o mercado de cervejarias artesanais cresceu 12% no mesmo período (LYONS, 2017).

2.5 Produção

2.5.1 Processamento

Conforme mencionado na seção introdutória deste trabalho, o processo de produção da cerveja a partir dos grãos de cereais *in natura* é constituído por 5 etapas: Maltagem, Produção de Mosto, Fermentação, Maturação e Pós-tratamento (AQUARONE *et al.*, 2001). Neste processo, grãos misturados com água são submetidos a uma germinação controlada que será interrompida, sendo as enzimas presentes degradadas por meio do aquecimento, produzindo o malte. Essa solução resultante será filtrada e então conhecida como “mosto”, onde será adicionado lúpulo para posteriormente ser filtrado e levado aos tanques onde, em presença de leveduras, ocorrerá a fermentação. Após essa etapa é necessário um período de maturação onde componentes indesejados serão degradados. Na etapa subsequente a cerveja obtida é filtrada e submetida aos procedimentos finais (que variam de acordo com o produto final desejado) para ficar apta ao consumo (DE KEUKELEIRE, 2000). A seguir serão detalhadas as principais etapas para produção da cerveja.

2.5.2 Maltagem

A principal finalidade da etapa de maltagem é aumentar o poder diastático do malte, que é o indicador do potencial de hidrolização do amido disponível no malte para produção de açúcares fermentescíveis durante a maceração (BOULTON, 2013)). O aumento do potencial se dá por meio da elevação do conteúdo enzimático do cereal utilizado promovendo condições adequadas para sintetização de amilases, proteases, glucanases entre outras enzimas, as quais serão fundamentais na etapa de mosturação. A maltagem é constituída por três etapas principais: maceração, germinação e secagem (AQUARONE *et al.*, 2001).

2.5.2.1 Maceração

Primeiramente o grão que será utilizado passa por um tratamento prévio onde é peneirado e aspirado com o intuito de remover impurezas e sujeiras presentes, que contaminariam o malte. Após o pré-tratamento, os grãos do cereal vão para a etapa de maceração. Esta etapa consiste basicamente em hidratar os grãos, que são imersos em água a uma temperatura controlada para preparar o início da germinação. O controle de temperatura é necessário pois temperaturas mais altas, apesar de acelerar a absorção de água pelos grãos, aceleram também o crescimento microbiano, além de poder danificar o grão. A faixa de temperatura utilizada varia de acordo com o grau de dormência e maturidade do grão, recomendando-se a manutenção da temperatura em cerca de 12°C para grãos mais dormentes e imaturos e entre 16°C e 18°C para grãos menos dormentes (STEVENS *et al.*, 2004).

Com a submersão do grão durante a etapa de maceração, vários compostos são dele removidos, como fenóis, aminoácidos, minerais, açúcares e até alguns polímeros como pentosanas, β -glucanos e algumas proteínas, o que gera a necessidade de a água passar por tratamento antes de ser reutilizada. Alguns aditivos químicos são utilizados no processo industrial para auxiliar na remoção desses compostos do grão, como por exemplo hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio são utilizados para retirada de fenóis, peróxido de hidrogênio auxilia a oxigenação e formaldeído atua na redução de potenciais infecções microbianas. Todos esses componentes aditivos são utilizados em baixas quantidades a fim de não causar efeitos adversos à saúde do consumidor final do produto (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017).

Conforme a hidratação ocorre, o volume do grão chega a aumentar cerca de 40%, o que torna necessária a injeção de ar para evitar a compactação dos grãos (o que reduziria a velocidade da absorção de água), e aumentar a disponibilidade de oxigênio no meio. Além disso, a injeção de ar tem função de promover a troca de calor e massa, retirando o calor e CO₂ gerados que inibem a germinação do grão (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017). Outro procedimento importante é a troca periódica da água de maceração, para evitar a propagação excessiva de microrganismos presentes, que poderiam contaminar o malte e gerar um gosto indesejado no produto final ou até mesmo a produção de substâncias que inibem a maltagem ou são tóxicas aos seres humanos (STEVENS *et al.*, 2004). Essa troca ocorre em média a cada 6-8 horas, visando a menor frequência possível, pois tanto a reposição da água quanto o tratamento e descarte do efluente de maceração representam um custo relevante para o processo devido a sua duração ser de 2 a 3 dias (AQUARONE *et al.*, 2001).

O percentual de hidratação do grão considerado ótimo para a etapa de germinação é de 45% a 46%, sendo que os valores inferiores a 40% tendem a retardar o processo de germinação até mesmo em cereais considerados de alta qualidade (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017).

2.5.2.2 Germinação

O início da etapa de germinação é indicado pelo surgimento da radícula que se projeta na base do grão, que então será transferido para os germinadores onde o processo continuará. O crescimento da estrutura embrionária (denominada “acospira”) é o principal indicador do progresso da germinação, sendo considerado final quando esta chega em aproximadamente dois terços do comprimento total do grão. O processo de germinação do grão produz água, calor e CO₂, tornando a injeção de ar necessária também nessa etapa, para evitar o superaquecimento, garantir abundância de oxigênio e retirar o excesso de CO₂ que inibe o crescimento. É fundamental para a germinação que a umidade relativa da corrente de ar que irá passar pelo leito de grãos seja o mais próxima possível de 100%, de modo a evitar a perda de água, o que afeta diretamente a reação no endosperma dos grãos (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017). A maioria dos germinadores atualmente utilizados apresentam um fundo falso perfurado, são pneumáticos e envolvem injeção de ar por meio de jatos de ar, enquanto algumas cervejarias (principalmente no Reino Unido) utilizam germinadores onde isso ocorre por meio da agitação mecânica dos grãos (STEVENS *et al.*, 2004). Essa etapa dura entre 3 e 6 dias, dependendo de alguns fatores como o tipo de cereal e tecnologia dos germinadores utilizados no processo (AQUARONE *et al.*, 2001).

2.5.2.3 Secagem

O processo de germinação é interrompido pelo início da secagem, onde o cereal, agora na forma de malte, é transferido para novos compartimentos denominados “secadores”, os quais, assim como a maioria dos germinadores, apresentam fundo perfurado sobre o qual o malte será repousado (AQUARONE *et al.*, 2001). Na etapa de secagem utiliza-se ar quente e seco em correntes que passam pelo leito de malte, de forma a reduzir a umidade do grão para aproximadamente 5% e assim estabilizar o grão (e permitir o armazenamento a longo prazo). No início da secagem, o malte continua a se modificar, até que a perda de água em excesso suspende as ações enzimáticas. Os diferentes tipos de malte existentes são diretamente influenciados pela secagem e posterior torra dos grãos, pois é nessa etapa que se define a coloração, o grau de atividade enzimática e parte do sabor do malte. A coloração em específico é resultado da temperatura de secagem (temperaturas mais baixas produzem malte mais claro com maior atividade enzimática enquanto temperaturas mais altas levam a maltes mais escuros, mas de menor atividade enzimática) e ocorrência da reação de Maillard, reação de escurecimento não enzimático (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017).

A reação de Maillard consiste em uma sequência de reações em que açúcares são aquecidos com compostos que contêm pelo menos um grupo de amino livre, como aminoácidos, proteínas e aminas. Apesar de ter a alteração da coloração como seu principal resultado, a reação de Maillard também influencia no sabor do produto e, em meios com alto pH, produz componentes que agem como antioxidantes, os quais prolongam a durabilidade do malte. Não se deve confundir Maillard com a caramelização, que é o escurecimento que ocorre nos açúcares aquecidos na ausência de compostos nitrogenados. Os resultados de processos que envolvem Maillard dependem de vários fatores, como as proporções dos

componentes presentes, temperatura, pH e tempo de reação (BAMFORTH; COOK, 2005).(FENNEMA, 2007)

Após o fim da secagem, o malte é resfriado e agitado para a quebra das raízes que, juntamente com outras impurezas presentes no malte, serão peneiradas e aspiradas antes do malte ser encaminhado para armazenamento. Maltes mais claros podem ser armazenados por até 6 semanas antes de serem utilizados, enquanto maltes mais escuros devem ser utilizados o mais breve possível, pois quanto mais tempo em armazenamento mais suas características (principalmente aroma e sabor) se degradam. É fundamental que o armazenamento ocorra de forma adequada para evitar umidade e que o malte seja infestado de pragas (como aves, ratos e insetos). Cada uma das bateladas de malte produzidas deve ser armazenada separadamente, visto que é impossível produzir bateladas iguais, porém quando possuem a mesma finalidade e especificações (ou quando a mistura de maltes diferentes for de interesse do processo) podem ser utilizadas em conjunto durante a produção (STEVENS et al., 2004).

2.5.3 *Produção do Mosto*

A produção do mosto se inicia pela moagem dos grãos de malte, procedimento que tem como objetivo facilitar a extração dos açúcares e outros componentes pelo aumento da superfície de contato do grão ao mesmo tempo que mantém a integridade da casca, que será utilizada posteriormente como meio filtrante (AQUARONE et al., 2001).

Existem alguns critérios básicos que devem ser seguidos para garantir a qualidade do malte moído, são eles: (i) não ter a presença de grãos intactos; (ii) as cascas devem ser rasgadas longitudinalmente e não reduzidas ao pó; (iii) mínimo possível de endosperma aderido à casca; (iv) endosperma deve estar na forma de pequenas partículas uniformes; (v) Farinha fina deve estar presente em percentuais mínimos. A observância destes critérios garante que o ponto ótimo entre a moagem do grão com o estado mais conservado das cascas seja alcançado, aumentando a eficiência das etapas de brassagem e filtração (AQUARONE et al., 2001).

Existem dois métodos de moagem na indústria: moagem seca e moagem úmida. Na moagem seca são usados alguns tipos de moinho (Moinhos de dois rolos, moinhos de disco ou moinhos de martelo) de acordo com o tipo de malte presente e da técnica de filtração que será usada posteriormente no processo. Já a moagem úmida consiste em tornar a casca do grão mais maleável por meio de adição de água ou vapor antes de entrar no moinho de rolos, minimizando o dano que a casca irá sofrer durante a moagem, o que conseqüentemente aumenta o rendimento da etapa de filtração, além de a moagem úmida reduzir a presença de endosperma aderido à casca do grão (AQUARONE et al., 2001) (BAMFORTH; COOK, 2005).

O malte moído então passa pela etapa de mosturação (mais conhecida como etapa de brassagem) onde é misturado com água aquecida e adjuntos (se for necessário para a produção de cervejas específicas) a fim de formar o mosto contendo os ingredientes necessários para a etapa de fermentação e para a obtenção das principais características de qualidade da cerveja. Além disso é na etapa de brassagem que se inicia a quebra das moléculas de amido que estão presentes no malte (BAMFORTH; COOK, 2005).

O amido presente é de difícil digestão pelas leveduras devido à alta ordenação das suas moléculas e suas ligações, por isso é necessário que durante essa etapa o mosto sofra aquecimento para promover a gelatinização do amido, a temperatura que esse processo ocorre varia de acordo com o cereal utilizado, para cevada, por exemplo, ocorre na faixa de 55°C – 65°C. Durante a gelatinização ocorre a quebra das ligações de hidrogênio intermolecular, o que reduz a cristalinidade, permitindo que as moléculas sofram digestão enzimática e sua posterior conversão em glicose (BOULTON, 2013) (BAMFORTH; COOK, 2005). O amido do malte é composto basicamente por duas moléculas: Amilose (compondo cerca de 30% do amido total, na forma de cadeia linear) e Amilopectina (de cadeia ramificada sendo os outros 70% do amido), as quais passarão por reações onde serão convertidos pelas enzimas amilases em açúcares fermentescíveis (em sua maioria maltose), glicose e dextrina. Além disso outras enzimas que atuam nessa etapa e merecem destaque são as proteases, as fosfatases e as betaglucanases (essas possuem papel importante na hidrólise do betaglucano, uma goma presente nas cascas do grão e que prejudica a etapa de filtração) (AQUARONE et al., 2001).

Existem três principais métodos de mosturação que são utilizados na indústria:

- Mosturação por Infusão – O processo clássico, também conhecido como britânico, onde o mosto é produzido em um tanque contendo malte (que precisa ser de alta qualidade e com germinação avançada), água em temperatura constante sem qualquer mecanismo de agitação. Posteriormente, a etapa de filtração ocorrerá no mesmo tanque. Atualmente este é o método mais aplicado em cervejarias de menor escala devido a sua simplicidade;
- Mosturação por Decocção – Inicialmente usado na Europa, o método consiste na utilização de diferentes faixas de temperatura para melhor eficiência das reações, o que permite inclusive sua aplicação em maltes menos germinados. O mosto é parcialmente retirado (decocado) e aquecido até próximo ao ponto de ebulição, para então ser devolvido à mistura inicial. Essa técnica permite que o mosto alcance subsequentemente as temperaturas ótimas para proteólise (40°C – 50°C), para hidrólise do amido (55°C e 65°C) e por último uma temperatura em que seja possível ocorrer a separação do mosto (cerca de 70°C). Quando aplicada a decocção, a mosturação e filtração são realizadas em equipamentos diferentes;
- Mosturação Dupla – Conhecido como “Maceração Dupla Americana”, este método tem sua aplicação quando são utilizados na produção adjuntos de cereais (não maltados) que também necessitam passar pela gelatinização. São utilizados dois tanques, um para o mosto de malte e outro para os cereais. O tanque dos cereais é misturado com água e aquecido até aproximadamente 90°C e mantido nessa temperatura enquanto sua viscosidade reduz, aproximadamente 10% do malte (denominado malte de sacrifício) é adicionado à mistura para agilizar esse processo, pois a α -amilase presente irá hidrolisar as moléculas de amido, reduzindo a viscosidade da mistura. Após essa etapa é possível aquecer o mosto de cereais até próximo da ebulição e então ser misturado ao mosto de malte no tanque onde ocorrerá a hidrólise do amido. Semelhante à decocção, nesse método é necessário que a filtração ocorra em equipamentos separados (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017).

Ao final da brassagem, o extrato do mosto será filtrado para separar o líquido das partículas sólidas insolúveis (compostas basicamente pelos restos sólidos dos grãos de malte e proteínas coaguladas) em uma temperatura de aproximadamente 75°C, onde a viscosidade está em valores ótimos para a extração, as enzimas do malte estão inativas e as partículas sólidas continuam insolúveis (AQUARONE et al., 2001). A filtração costuma ocorrer em equipamentos com grande seção transversal a fim de otimizar o processo, pois a velocidade da filtração é proporcional ao tamanho da área de filtragem e inversamente proporcional à altura do meio filtrante (conforme citado anteriormente, as cascas do malte serão utilizadas como meio filtrante nessa etapa). Após todo o extrato atravessar o filtro, o resíduo sólido costuma ser lavado com água quente para extrair os restos de mosto que ficaram retido na superfície. Posteriormente o extrato solúvel será encaminhado para fervura enquanto os resíduos sólidos costumam ser vendidos como ração para a alimentação de criação de gado, por se tratar majoritariamente de grãos e proteínas (BAMFORTH; COOK, 2005).

Após a retirada dos resíduos sólidos o mosto será fervido na presença de Lúpulo e dependendo do produto final desejado alguns outros adjuntos e ingredientes também serão utilizados. Algumas reações irão ocorrer durante a fervura, como a esterilização do mosto, isomerização dos ácidos presentes no Lúpulo e formação de componentes relacionados ao sabor final do produto, este último geralmente devido à Reação de Maillard (PIRES, 2015).

A adição do Lúpulo, fundamental para algumas características finais do produto, é realizada durante a fervura em três momentos diferentes. A primeira parte do Lúpulo (cerca de 25%) é adicionada alguns minutos após o início da ebulição do mosto, sendo sua principal finalidade auxiliar na coagulação das proteínas presentes, na metade do processo cerca de 50% do Lúpulo é adicionado com o intuito de promover o amargor, enquanto os 25% restante são adicionados próximos ao final da fervura, para conferir os toques finais do perfil sensorial do produto. É também nessa etapa que, por meio da evaporação da água presente, o mosto aumenta a sua concentração favorecendo a posterior fermentação. O mosto clarificado (resultado do processo de fervura) também desenvolve coloração mais próxima a do produto final de acordo com a intensidade da fervura e da caramelização dos açúcares presentes (AQUARONE et al., 2001).

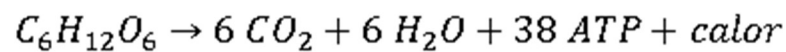
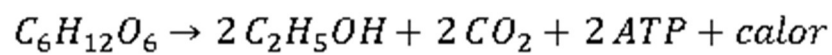
A etapa de fervura costuma durar cerca de 1 – 2 horas, sendo reduzida com o aumento da temperatura, por isso industrialmente são utilizados equipamentos que permitem uso de altas pressões, onde é possível realizar a etapa de fervura em temperaturas superiores a 130°C, reduzindo o tempo dessa etapa para cerca de 10 minutos o que também impacta diretamente nos custos com energia da operação. Ao final da fervura o mosto apresenta aspectos claros, porém com várias partículas suspensas (em sua maioria restos de Lúpulo) que serão removidas mecanicamente por meio de decantação (STEVENS et al., 2004).

O mosto então passará por resfriamento em preparação para o início da fermentação. É necessário que rapidamente atinja uma temperatura entre 12°C – 22°C (dependendo do tipo de cerveja desejada) antes de entrar em contato com a levedura, o que interrompe quaisquer reações que ainda estejam em andamento. O resfriamento deve ocorrer em condições assépticas, garantindo que não ocorra a proliferação de microrganismos que podem contaminar o extrato (STEVENS et al., 2004).

2.5.4 Fermentação (Fermentação Primária)

Etapa em que a levedura é inoculada no mosto clarificado. Nesta etapa através de reações metabólicas, ocorre a conversão de alguns nutrientes presentes no mosto, sobretudo os açúcares, em biomassa, álcool, CO₂ e outros subprodutos responsáveis por algumas das características sensoriais da cerveja desejada. As duas reações de conversão de açúcar de interesse no processo cervejeiro, estão apresentadas de forma simplificada na Figura , são a via anaeróbia (onde a glicose (C₆H₁₂O₆) é consumida para a produção de etanol (C₂H₅OH), gás carbônico (CO₂), energia (ATP)) e a via aeróbia (onde devido a presença de O₂ a glicose (C₆H₁₂O₆) é convertida em gás carbônico, água (H₂O) e energia)

Figura 1 - Reações metabólicas simplificadas



FONTE: AQUARONE (2001, p 121)

A via respiratória, aeróbia, está ligada a liberação de grandes quantidades de energia (ATP) e conseqüentemente o crescimento do fermento utilizado, para que esta via ocorra é necessária a presença de oxigênio dissolvido no caldo fermentativo (O₂) e por isso, no processo cervejeiro ocorre principalmente no início da fermentação, onde é realizada uma injeção de oxigênio para estimular o crescimento. Já a via fermentativa, transforma os açúcares presentes em álcool e gás carbônico, começando logo após a adição do fermento ao mosto cervejeiro e ocorre durante todo o processo fermentativo, já que independe da presença de O₂ (AQUARONE et al., 2001) (STEVENS *et al.*, 2004). O principal indicador utilizado para acompanhar o andamento da fermentação é a densidade relativa da mistura, que vai gradualmente diminuindo devido ao álcool ter menor massa específica que o açúcar (BAMFORTH; COOK, 2005).

Simultaneamente ao crescimento da levedura e produção de etanol, ocorre a acidificação do meio, principalmente em função da formação de ácidos carboxílicos (oriundos do dióxido de carbono resultante da metabolização) e dos ácidos orgânicos (como os ácidos láctico, acético, pirúvico, fórmico entre outros) que também podem ser produzidos, em menores quantidades, e são excretados pelas células de levedura durante a fermentação (STEVENS et al., 2004).

A fermentação para produção da cerveja é normalmente conduzida em bateladas, sendo possível reutilizar o fermento em diversos ciclos. Ao final de cada batelada é necessário separar a levedura da “cerveja verde” (nomenclatura dada a cerveja resultante da fermentação antes de passar pelas etapas de maturação e tratamento (STEVENS *et al.*, 2004) et al., .

Existem dois principais tipos de processo fermentativo que ocorrem na indústria de acordo com o tipo de cerveja almejado pelo cervejeiro: alta fermentação e baixa fermentação, que são utilizados na produção de cervejas tipo *Ale* e *Lager*, respectivamente. A principal diferença

entre os tipos mencionados é a levedura utilizada, pois são utilizadas cepas específicas para o produto final desejado, normalmente *Saccharomyces cerevisiae* para *Ales* e para *Lagers* a *Saccharomyces pastorianus* (estas espécies são as mais comuns na indústria para essa finalidade, mas podem ser utilizadas outras espécies ou até mesmo um conjunto de leveduras) (BAMFORTH; COOK, 2005). Além das diferentes leveduras, a temperatura, o tempo de duração e a forma de remoção da levedura também são fatores característicos de cada fermentação. A produção de cervejas *Ale* tem a fermentação ocorrendo na faixa de 20°C a 25°C por cerca de 72 horas, e, ao final do processo, a levedura sobe até a superfície do mosto juntamente com a espuma de coloração castanha, onde pode ser removida de forma mecânica para posterior reutilização. Para cervejas tipo *Lager* o processo ocorre em temperaturas inferiores, na faixa de 8°C até 11°C, o que leva a uma fermentação mais lenta, podendo durar até 10 dias, e sem espuma ao final da etapa. Neste tipo de processo a levedura sedimenta no fundo do fermentador (CEREDA; VENTURINI FILHO, 2001).

2.5.5 Maturação (Fermentação Secundária)

Após as etapas mencionadas acima, a “cerveja verde” obtida apresenta características consideradas brutas, sendo necessário um processo de refinamento para alcançar características ideais para consumo, processo este que é chamado de Maturação (ou fermentação secundária). A Maturação costuma durar cerca de uma a duas semanas, sendo que neste período a fermentação da levedura continuará a ocorrer, mas em taxa reduzidas, principalmente devido à diminuição da temperatura e quantidade de células de levedura presentes.

A maturação costuma ocorrer em outro equipamento onde tem-se uma nova injeção de oxigênio e a levedura, que permaneceu na “cerveja verde”, será suspensa novamente, ocorrendo nova fermentação. Um requisito fundamental para a maturação é a presença de carboidratos para permitir ocorrência da fermentação, esses carboidratos costumam ser de origem residual (restaram após o final da primeira fermentação) ou podem ser adicionados utilizando-se mosto que tenha sido previamente retirado da primeira fermentação. Nessa etapa também ocorre o aumento dos níveis de dióxido de carbono na cerveja, que será dissolvido no líquido conforme os carboidratos são metabolizados pela levedura.

É na maturação que vários aspectos do sabor da cerveja são refinados, seja pela alteração que ocorre em diversos compostos que foram produzidos na primeira fermentação, que colaboram para o gosto desagradável da “cerveja verde” (como cetonas, compostos de enxofre, aldeídos e alguns ácidos graxos) ou pela adição de ingredientes que tem como objetivo a alteração do sabor e até da coloração do líquido (sendo o xarope de caramelo o principal exemplo utilizado para essa finalidade). A adição costuma ocorrer entre as duas fermentações, pois permite tempo o suficiente para que os efeitos desejados aconteçam.

Outro ponto que merece atenção na maturação, é na minimização da entrada de oxigênio no tanque para evitar oxidação. Como essa etapa costuma ocorrer em tanques fechados, a entrada de oxigênio é mantida nos valores mínimos necessários para o início da fermentação, pois a oxidação da cerveja além de causar sabores desagradáveis ao consumidor, também reduz a vida útil do produto. Ao restringir os efeitos do oxigênio e também atuar na

clarificação do líquido, essa etapa é fundamental para a estabilização e durabilidade do produto final que será consumido (STEVENS *et al.*, 2004) et al., .

2.5.6 Pós-tratamento

Ao concluir as duas etapas de fermentação, a cerveja já apresenta as suas principais características e está muito próxima do produto final desejado, porém ainda é necessário que passe por algumas etapas de tratamento visando o refino do produto antes da sua comercialização. Essas etapas costumam variar de acordo com o estilo de cerveja que se deseja produzir, porém entre as mais comuns estão etapas de Clarificação, Pasteurização e Carbonatação.

2.5.6.1 Clarificação

Ao longo do processo de fermentação (especialmente durante a maturação) a cerveja produzida já tem o seu grau de turbidez reduzido como resultado da sedimentação da levedura, das proteínas e taninos presentes, porém ainda está longe do aspecto desejado para consumo, o que torna necessário que a cerveja passe por uma etapa de clarificação por meio da filtração. Os métodos usados para a filtração variam de acordo com a cervejaria, os mais comuns envolvem a utilização de filtro prensa, filtro de terra diatomácea e/ou filtros de membrana (existem alguns casos em que a clarificação é feita por meio da centrifugação, mas depende de processos específicos de maturação para não degradar a levedura).

Os principais cuidados que devem ser observados, independentemente dos métodos aplicados, são restringir a entrada de oxigênio, evitar a contaminação por microrganismos e controlar a perda de gás carbônico durante o processo. Assim é possível evitar que as características de qualidade obtidas ao final da maturação sejam perdidas. Outro detalhe importante sobre a clarificação é que esta deve ocorrer nas menores temperaturas possíveis, pois assim é atingido o máximo de turbidez (os complexos de proteína não se mantêm dissolvidos em baixas temperaturas) o que leva a um aumento da eficiência da filtração (AQUARONE *et al.*, 2001).

2.5.6.2 Carbonatação

O nível de gás carbônico presente na cerveja é uma das características importantes para o produto final, e é durante a etapa de maturação que boa parte desse gás é dissolvido no líquido. Entretanto devido à dificuldade de controlar a quantidade de CO_2 em níveis desejados durante a fermentação, muitas cervejarias recorrem a outros métodos de carbonatação para complementar essa etapa.

Os dois principais métodos de carbonatação utilizados na indústria são a “carbonatação em tanque” e “carbonatação em linha”. A carbonatação em tanque consiste na utilização de um difusor para a injeção do CO_2 no fundo do tanque de armazenamento até que seja alcançado um valor predeterminado de contrapressão. Já a carbonatação em linha é realizada durante o transporte da cerveja por uma tubulação (normalmente após a filtração), onde o CO_2 será injetado na forma de pequenas bolhas por um difusor (AQUARONE *et al.*, 2001).

2.5.6.3 Pasteurização

A pasteurização é etapa onde a estabilidade biológica (e consequentemente a durabilidade do produto) é garantida, nela são inativados grande parte dos microrganismos presentes na cerveja, permitindo assim um maior prazo de validade. Existem tipos de cervejas que não passam pelo processo de pasteurização, porém elas costumam ter menor vida útil, como é o caso de alguns tipos de chopp e de cervejas artesanais que usam microrganismos para obter características de sabor. Cervejas não alcoólicas necessitam de uma pasteurização mais rigorosa, pois seu pH e ausência de álcool tornam esta suscetível ao crescimento de microrganismos.

Existem duas principais técnicas de pasteurização empregadas atualmente: a utilização de trocadores de calor de placa ou o uso de túnel de pasteurização. Quando são utilizados trocadores de calor, o processo é realizado antes do envase da cerveja. Neste caso, a cerveja, que está na temperatura de 7 a 10°C, é aquecida até cerca de 75°C na presença de uma queda de pressão em torno de 2,5 - 9 bar da entrada até a saída. O objetivo da aplicação de diferença de pressão entre entrada e saída do trocador é evitar a formação de bolhas de gás nessa etapa. Na pasteurização em túnel, a cerveja (já acondicionada na sua embalagem final) será aquecida com a utilização de água quente até cerca de 65°C. Depois, é preciso que seja resfriada com água fria até temperaturas de aproximadamente 25°C (AQUARONE et al., 2001).

2.6 Ingredientes

2.6.1 Malte

O nome “Malte” possui origem no Anglo – Saxão, derivado das palavras *metan* (que significa dissolver/derreter, alusão aos grãos se tornarem mais maleáveis durante o processo de maltagem) e *malled* (que significa quebrado em pedaços, provável referência ao processo de moagem que o malte sofre antes de virar mosto) (BOULTON, 2013).

Malte é considerado o segundo ingrediente mais importante para a cerveja, atrás apenas da água, pois muitos dos fatores que influenciam diretamente a percepção sensorial da cerveja (como turbidez, espuma, sabor, coloração) dependem diretamente da qualidade do malte produzido (BAMFORTH, 2016). É obtido a partir da germinação de diversos cereais da família *Graminea*, como cevada, sorgo, milho, trigo entre outros. A cevada é o principal cereal utilizado na maltagem, enquanto malte de trigo, sorgo e milho costumam ser usados na produção de tipos específicos de cerveja. Independente do cereal utilizado, a produção do malte consiste essencialmente em um processo: a modificação enzimática do endosperma, conforme descrito na seção 2.2.2 (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017). Na Tabela 1 são apresentados alguns detalhes da obtenção de diferentes tipos de malte que podem ser obtidos e o tipo de cerveja produzida.

A produção de cerveja exclusivamente com cereais não maltados é muito rara, algumas características do grão *in natura* tornam o processo mais difícil. Dentre as complicações podemos citar a dificuldade na moagem, o fato de não possuir quantidade de das enzimas necessárias na fermentação do mosto (baixo poder diastático) e ainda possuir alguns componentes que podem deixar gosto considerado desagradável pelo consumidor (BAMFORTH; COOK, 2005).

Tabela 1 – Principais tipos de Malte de Cevada

Produto	Detalhes	Utilização
Malte Pilsen	Malte germinado com temperatura de torra mantida abaixo de 85°C	Malte normalmente utilizado em cervejas lager mais claras
Malte de Vienna	Semelhante ao malte Pilsen, mas com alto teor de Nitrosamina e temperatura de torra cerca de 90°C	Malte normalmente utilizado na produção de lager mais escuras
Malte Munique	Derivado de cevada com alto teor de proteínas, germinação prolongada em temperaturas inferiores na torra e finalizado em superiores a 100°C	Malte usado para cervejas lager escuras
Malte Claro	Baixo teor de Nitrosamina (<1,65% N), torra iniciando em 60°C e finalizando em cerca de 105°C	Malte normalmente utilizado em cervejas ale claras
Malte Chit	Germinação breve e levemente torrado	Utilizado como adjunto em países como a Alemanha, devido a Reinheitsgebot
Malte Verde	Malte não torrado após a germinação	Alternativa para adição de enzimas de fonte externa
Malte Diastático	Cevada de alto teor de N, longa germinação, macerado com alta umidade e torra leve	Alto potencial enzimático para uso na brasagem com muitos adjuntos
Malte Defumado	Torrado na presença de lenha queimando	Para cervejas com características defumadas
Malte Caramelo	Superfície é seca em 50°C antes da secagem a 100°C	Adição de coloração e toque adocicado adiciona cor e sabor maltado doce na cerveja
Malte Amber	Malte Claro aquecido em temperatura crescente na faixa de 49-170°C	Adição de características de nozes na cerveja
Malte Cristal	Semelhante ao malte caramelo, mas seco em temperaturas superiores	Adição de características caramelo na cerveja
Malte Chocolate	Malte lager com torra em temperaturas de 75°C até 150°C durante uma hora, para então subir até 220°C	Adição de características semelhantes a chocolate e café queimado, além de amargor e coloração escura na cerveja
Malte Escuro	Semelhante ao malte chocolate, mas de torra ainda mais intensa	Adição de características torradas mais fortes, com semelhanças a queima na cerveja

Fonte – Adaptado de Bamforth e Cook, 2015

2.6.2 Água

A água é o principal ingrediente da cerveja (compõe 90-98%, dependendo do tipo de cerveja) e por isso sua composição impacta diretamente nos aspectos da cerveja e no processo de produção (além do seu uso no processo para fins operacionais). Sua origem pode ser de poços artesianos ou diretamente da rede de abastecimento municipal de onde o processo será realizado e por isso sua composição (principalmente do ponto de vista dos aspectos minerais) pode variar bastante. Devido ao fato de a mesma cerveja ser produzida em diversos locais do mundo, torna-se necessário que a água seja totalmente desmineralizada para então ser preparada de acordo com as características finais do produto desejadas, garantindo assim a mesma composição e características.

Os principais tratamentos aplicados são purificação, esterilização e ajuste de sais e pH. Além disso, são necessárias etapas para remoção de sólidos e contaminantes que possam estar suspensos na água. Muitos componentes que são encontrados na água não tratada podem impactar diretamente o processo. Uma das primeiras etapas do tratamento é a remoção de sólidos com o uso de floculantes. As concentrações de ferro e manganês também necessitam de atenção especial, pois sua presença em excesso leva a uma coloração indesejada na produção do mosto e prejudicam a estabilidade do sabor final, sendo removidos por meio de tratamento com agentes oxidativos. Outro tratamento comum é o uso de ozônio para a redução da carga microbiana presente, evitando contaminações do produto. Além disso, carvão ativado é utilizado para remoção de grande parte dos minerais presentes, além de remover muitos contaminantes que promovem sabor e coloração desagradável a água (como é o caso de pesticidas, halo metanos e compostos derivados do húmus).

Alguns íons têm efeitos importante e complexo no aspecto final da cerveja produzida, alguns exemplos relevantes que podem ser citados são:

- Sulfatos: Promove amargor, muitas vezes desejado;
- Cloreto: Sabor adocicado e de aspecto encorpado;
- Sódio: Notas metálicas no sabor;
- Magnésio: Sabor adstringente.

Alguns íons possuem função relevante para o processo de produção da cerveja e merecem ser citado diretamente, como é o caso do cálcio, que estabiliza as amilases do malte, reduzindo o pH do mosto, sendo necessário também para a melhor floculação da levedura após a fermentação, além de evitar que silicatos e taninos sejam retirados em excesso, o que causaria uma característica adstringente. Para a nutrição e metabolismo da levedura, é necessário que haja a presença suficiente de íons magnésio, zinco, manganês e fosfatos, enquanto a presença de cobre deve ser minimizada devido ao seu caráter tóxico para as células de levedura (BOULTON, 2013).

2.6.3 Lúpulo

O Lúpulo (*Humulus lupulus*) é o principal ingrediente responsável pelo amargor e aroma característico da cerveja. Planta da família *Cannabaceae* e nativa da região da China, atualmente é cultivada no mundo todo devido aos seus requisitos de cultivo serem simples,

com principal critério sendo suprimento de água em abundância, solo fértil e com estações bem definidas (verão quente e inverno frio) (AQUARONE et al., 2001). Os primeiros registros do seu uso para essa finalidade são datados entre 1000 d.C. e 1.200 d.C. na República Tcheca e Alemanha, onde além dos benefícios já citados também era utilizado por auxiliar na preservação das qualidades da cerveja, num período que as alternativas de refrigeração eram muito primitivas.

O Lúpulo é composto majoritariamente por resinas e óleos, responsáveis pelo sabor e aroma que ele proporciona, respectivamente. Como mencionado na seção 2.2.3, ele é normalmente adicionado durante a etapa de fervura do mosto, proporcionando amargor e aroma lupulado ao produto. Além disso, é responsável por auxiliar na estabilidade do sabor e da espuma da cerveja. Outra aplicação é durante a etapa de mosturação após a fervura, de forma que deixa as características de amargor e aroma mais fortes ao final do processo. Existem diversas variedades de Lúpulo que são classificadas de acordo com seu objetivo (aromas mais fortes, sabor mais marcante ou de características equilibradas). A criação de variedades tem outras funções além das sensoriais, sendo importante para o aumento da produtividade das plantações por meio de uma maior resistência a pragas e pestes e redução dos custos de manutenção da planta. Outro ponto importante durante o cultivo é que as plantas “macho” devem ser removidas, pois após ocorrer a fecundação ocorre o surgimento das sementes, que deixam um sabor desagradável na cerveja, principalmente em função da oxidação que causam nos seus componentes (STEWART; RUSSEL; ANSTRUTHER, 2017).

2.6.4 Levedura

Os conhecimentos relacionados a levedura são muito recentes se comparados a história milenar da cerveja, foi somente com as observações microscópicas publicadas por Louis Pasteur (“*Études sur la bière*” em 1876) e os posteriores avanços científicos do último século que possibilitaram a elucidação dos mecanismos de reação envolvidos no processo cervejeiro (exemplo a tardia adição da levedura na *Reinheitsgebot*, demonstrando a falta de conhecimento sobre a levedura e seu papel na fermentação) (STEVENS et al., 2004).

As leveduras são microrganismos eucariontes, unicelulares, heterotróficos que apresentam respiração anaeróbia facultativa e durante a fermentação se reproduzem de forma assexuada por brotamento. A nomenclatura “*Saccharomyces*” deriva do grego *saccharo* (açúcar) e *myces* (fungo), dando origem a “fungo de açúcar” e como o nome sugere ela está presente em ambientes com presença abundante de açúcar, como superfície de frutas.

Existem dois principais tipos de leveduras que são utilizados na indústria cervejeira, que produzem cervejas tipo Ale e Lager e se diferenciam em vários aspectos biológicos, como por exemplo a forma de floculação ao final da fermentação e o tempo de duração dessa etapa.

Independentemente do tipo de levedura cervejeira, a via metabólica utilizada para produção de etanol é a mesma. São assimilados carboidratos simples (unidades pequenas de açúcar), como glicose, frutose, maltose entre outras, o que gera uma priorização do organismo na absorção dos açúcares do mosto, onde monossacarídeos como glicose e frutose são as primeiras a serem consumidas. Durante toda a etapa de fermentação a levedura está constantemente se adaptando de forma eficiente ao estoque variável de nutrientes, passando por momentos de abundâncias e escassez (PIRES, 2015).

2.6.5 Adjuntos

São os ingredientes utilizados no processo produtivo com o intuito de proporcionar uma cerveja com características adicionais as resultantes do uso dos ingredientes básicos (malte, Lúpulo e água), costumam ser limitados de acordo com a legislação de onde a produção ocorre (no Brasil, por exemplo, é limitado o uso de 50% de ingredientes não maltados).

Os principais adjuntos utilizados na indústria cervejeira são caramelo (adicionar coloração e açúcares), grãos como trigo (é comum a utilização de um percentual de cereais não maltados para obter um produto mais leve), arroz e milho (para proporcionar sensação de leveza e frescor, além da adição de açúcares), diversas frutas (adição de açúcares e características frutadas).

2.7 Classificações de Cerveja

Existem dois principais tipos de cerveja que já foram anteriormente citados: *Ale* e *Lager*. Essa divisão se dá em razão da levedura utilizada e consequente característica de condução do processo. Ainda, existem importantes classificações atribuídas às chamadas Escolas Cervejeiras, que são baseadas no país de origem de determinados tipos de cerveja: Escola Inglesa, Americana, Belga e Alemã. As diferenças entre as escolas originalmente surgem de acordo com as limitações que os cereais e água disponíveis nas regiões, isso causava características específicas nos produtos que hoje são diretamente ligados as escolas (BOULTON, 2013). Devido às características subjetivas de alguns aspectos dos produtos, é necessária a padronização para ser viável a comparação dentro dos estilos (aspecto muito importante principalmente em concursos cervejeiros), tendo isso em mente surgiram alguns sistemas como o “*Intensity Level Terminology*” (ILT) que visa padronizar os atributos referentes aos sabores e aromas, o “*American Standard Reference Method*” (SRM) que mede a coloração da cerveja de acordo com a intensidade do comprimento de onda da luz, o “*International Bitter Unit*” (IBU) que representa em uma escala de 0 a 100 o potencial amargor do líquido de acordo com os compostos lupulados presentes na composição (BREWERS ASSOCIATION, 2021). Na Tabela 2 e Tabela 3 é possível ver as classificações do ILT e SRM, enquanto a Tabela 4 e a Tabela 5 mostram os principais tipos de cerveja de cada escola e suas principais características (aromas e sabores na ILT, amargor de acordo com IBU, coloração na SRM e % de álcool representado pelo “alcohol by volume”, o ABV). Na Tabela 2 foi acrescentado uma correspondência numérica de 1 a 9 para facilitar a compreensão da escala das características indicadas na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 2 – Índice de Terminologia do nível de intensidade (ILT)

ITL	None	Very low	Low	Medium-low	Medium	Medium-high	High	Very high	Intense
Índice	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fonte – Adaptada de Brewers Association, 2021

Tabela 3 – Escala do método americano de referência padrão (SRM)

Color	Very Light	Straw	Pale	Gold	Light amber	Amber	Medium amber	Copper/garnet	Light brown	Brown/Reddish brown	Dark brown	Very dark	Black
SRM	1-1.5	2-3	4	5-6	7	8	9	10-12	13-15	16-17	18-24	25-39	40+

Fonte - Brewers Association, 2021

Tabela 4 - Principais Tipos de Cervejas Ale e Stouts

Estilo	País de Origem	Características
<i>Bitter (Pale) Ale</i>	Inglaterra	SRM 5-12; Lúpulo 2-4; Malte 3-5; IBU 20-35; ABV 3,0% - 4,2%
<i>Indian Pale Ale</i>	Inglaterra	SRM 6 - 14; Lúpulo 5-7; Malte 5; IBU 35-63; ABV 4,2% - 7,1%
<i>American Pale Ale</i>	Estados Unidos	SRM 4-7; Lúpulo 7; Malte 3-5; Malte Caramelo 3; IBU 30-50; ABV 4,4% - 5,4%
<i>Mild (Brown) Ale</i>	Inglaterra	SRM 12-24; Lúpulo 2; Malte 6; IBU 12-25; ABV 4,2% - 6,0%; Malte torrado
<i>Porter</i>	Inglaterra	SRM 20-35; Lúpulo 1-3; Malte 3-5; IBU 20; ABV 4,4% - 6,0%; Atributos de caramelo e chocolate
<i>Stout</i>	Irlanda	SRM 40+; Lúpulo 1-2; Malte 6-8; IBU 30-40; ABV 4,1% - 5,3%; Malte Torrado; Caramelo – 2
<i>Sweet Stout</i>	Inglaterra	SRM 40+; Lúpulo 2-3; Malte 5-6; IBU 15-25; ABV 3,2% - 6,3%; Malte Torrado 2-3; Chocolate e Caramelo
<i>Imperial Stout</i>	Inglaterra	SRM 20-35+; Lúpulo 2-5; Malte 8; IBU 45-65; ABV 7,0% - 12,0%; Malte Torrado 2; Caramelo
<i>Kolsch</i>	Alemanha	SRM 3-6; Lúpulo 3; Malte 2-3; IBU 22-30; ABV 4,8% - 5,3%
<i>Gose</i>	Alemanha	SRM 3-9; Lúpulo 2-3; Malte 1-2; IBU 5-30; ABV 4,4% - 5,4%; Utiliza malte de aveia, trigo e cevada assim como suas versões não maltadas
<i>Weisse</i>	Alemanha	SRM 2-4; Lúpulo 1; Malte 1; IBU 3-6; ABV 2,8% - 5,0%; Características atreladas aos adjuntos utilizados (frutas, temperos e etc)
<i>Lambic</i>	Bélgica	SRM 6-13; Lúpulo 1-2; Malte 1; IBU 9-23; ABV 5,0% - 8,2%; Não apresentam adocicado do malte, a partir do trigo não maltado e malte de cevada
<i>Saison</i>	Bélgica	SRM 3-7; Lúpulo 2-5; Malte 3; IBU 20-38; ABV 5,0% - 6,8%
<i>Wit</i>	Bélgica	SRM 2-4; Lúpulo 1-3; Malte 2-3; IBU 10-15; ABV 4,8% - 5,6%; Presença de trigo e veia não maltados junto com o malte de cevada.

Fonte – Adaptada de Brewers Association, 2021

Tabela 5 - Principais tipos de cervejas Lager

Estilo	País de Origem	Características
<i>Pilsen</i>	República Tcheca	SRM 3-4; Lúpulo 5; Malte 3; IBU 25-50; ABV 4,6% - 5,3%; Atributos semelhantes ao pão presentes
<i>Bock</i>	Alemanha	SRM 20-30; Lúpulo 1; Malte 7; IBU 20-40; ABV 6,3% - 7,6%; Malte torrado sem características caramelo
<i>Helles</i>	Alemanha	SRM 4,5-5; Lúpulo 1-3; Malte 6; IBU 18-25; ABV 4,8% - 5,6%; Malte levemente torrado, características de pão e sem toques caramelo
<i>Maerzen</i>	Alemanha	SRM 4-15; Lúpulo 3; Malte 4-5; IBU 18-25; ABV 5,1% - 6,0%; Malte levemente torrado, leve toques de caramelo e pão
<i>Vienna</i>	Austria	SRM 10-18; Lúpulo 2-3; Malte 5; IBU 22-28; ABV 3,8% - 4,3%; Malte levemente torrado, leve toques de caramelo e pão
<i>Dunkel</i>	Alemanha	SRM 15-17; Lúpulo 2-3; Malte 3-5; IBU 16-25; ABV 4,8% - 5,3%; Malte torrado com chocolate
<i>Schwarzbier</i>	Alemanha	SRM 25-40; Lúpulo 2-3; Malte 5; IBU 22-36; ABV 3,8% - 4,9%; Malte levemente torrado
<i>Helles Rauchbier</i>	Alemanha	SRM 4,5-5; Lúpulo 2-3; Malte 7; IBU 18-24; ABV 4,8% - 5,6%; Malte defumado
<i>Malt Liquor</i>	Estados Unidos	SRM 2-6; Lúpulo 1; Malte 3; IBU 12-23; ABV 6,3% - 7,6%; Características costumam variar entre american lager e bock

Fonte – Adaptada de Brewers Association, 2021

2.8 Cereais

Cereais são parte importante da alimentação dos seres humanos, principalmente pelo seu alto valor nutricional, mas também como matéria prima na produção de outros alimentos, por isso seu processamento é parte fundamental da cadeia industrial de alimentos. A nomenclatura “Cereais” se refere aos membros da família *Gramineae* e consiste em nove gêneros: trigo (*Triticum*), centeio (*Secale*), cevada (*Hordeum*), aveia (*Avena*), arroz (*Oryza*), milhete (*Pennisetum*), milho (*Zea*), sorgo (*Sorghum*) e *Triticale* (gênero que como o nome indica é um híbrido entre trigo e centeio). Apesar de todos os cereais poderem ser maltados, nem todos produzem resultados satisfatório ou economicamente viável, por isso abordaremos os principais cereais utilizados na indústria cervejeira, seja como malte ou na forma de adjunto, como é o caso da cevada, trigo, arroz entre outros (PAPAGEORGIU; SKENDI, 2018)

2.8.1 Cevada (*Hordeum vulgare*)

A cevada é um dos grãos mais importantes para humanidade, com registros do seu uso para a alimentação datando de 6.000 a.C. no Irã. Ao longo dos anos sua utilização foi reduzindo, principalmente em função da descoberta de novos grãos e atualmente seus principais usos são alimentação de criação de animais e produção de cerveja (ARENDDT; ZANNINI, 2013b). O grão costuma ser composto 65-68% de amido, 8-17% de proteínas, 3,6-9% de B-glucano, 2-3% de lipídios e 1,5-3% de minerais (BAIK; ULLRICH, 2008).

A cevada possui dois principais tipos: a cevada de duas fileiras e a de seis fileiras, sua principal diferença está na quantidade de amido e proteínas presentes, tamanho da casca e uniformidade dos grãos, fatores que influenciam diretamente no Malte produzido a partir do grão. A cevada de duas fileiras (que possui maior teor de amido, menor casca e grãos mais uniformes) é a mais utilizada na indústria cervejeira (AQUARONE et al., 2001). Todas essas características fazem da cevada o principal cereal utilizado para a produção de Malte, ao ponto de muitos utilizarem Malte de cevada como sinônimo de Malte.

2.8.2 *Sorgo (Sorghum bicolor)*

Com origem no continente africano a cerca de 4.000 anos atrás, o Sorgo é o sexto cereal mais cultivado no mundo (FAO/ONU, 2021) e tem no consumo humano a sua principal utilização, principalmente devido a suas características digestivas. Cerca de 50-75% do grão é composto de amido, 6-18% de proteínas (teor proteico considerado de baixa qualidade, principalmente pela falta de alguns aminoácidos essenciais, como a lisina) e 2-7% de lipídios. Sorgo é um cereal sem glúten e costuma ser muito presente na dieta de pessoas que sofrem de doença celíaca, o que o torna um ingrediente importante na dieta de muitas pessoas do continente africano, tanto na forma de alimentos quanto de bebidas. O primeiro uso que se tem registro de sorgo para a produção de cervejas é na África, onde existem diversas bebidas nativas feitas a base de Malte de sorgo conhecidas como “Cerveja Opaca”. Elas possuem características bem distintas das cervejas tipo *Ale* e *Lager* produzidas na Europa, devido às diferenças no processo (como a não utilização de Lúpulo, não pasteurização e a fermentação não ser concluída) resultando em características bem específicas, como aspecto turvo, alta viscosidade e aspecto mais frutado com teor alcoólico próximo a 5% (ARENDETT; ZANNINI, 2013b).

O Sorgo é um dos cereais mais pesquisados como alternativa para a cevada, principalmente em função do alto custo de importação da cevada para regiões como África e Ásia. Nestes países é comum o cultivo de Sorgo para produção de bebidas fermentadas semelhantes a cerveja, o que impulsionou pesquisas em busca de formas de contornar o que inicialmente era o principal obstáculo do uso do Sorgo: seus baixos níveis enzimáticos (PHIARAIS; ARENDETT, 2008).

2.8.3 *Milhete (Panicum miliaceum)*

O milhete (também conhecido como painço) é um dos cultivos mais antigos, com registros datados desde 8.000 a.C., na China Neolítica e isso se dá principalmente por ser um dos cereais com menor necessidade de água para seu crescimento (ARENDETT; ZANNINI, 2013b). De acordo com a ONU, o milhete é a sétima maior cultura de cereais produzida no mundo (FAO/ONU, 2021).

O milhete é uma planta monocotiledônea (conhecida pela sua folha única com semente) composta de aproximadamente 70% de carboidratos (70% dos carboidratos são amido), 9% de lipídios e as proteínas restantes que completam a composição são livres de glúten, o que permite a sua utilização para produção de alimentos e bebidas para o público celíaco (ARENDETT; ZANNINI, 2013b).

O seu uso para a produção de alimentos e bebidas necessita de métodos específicos que alterem a composição física do cereal (mudanças na maltagem, moagem, entre outras). Com

relação à maltagem, apesar de ser possível aplicar as técnicas mais comuns na indústria cervejeira, algumas variantes do cereal se mostram inadequadas para uso na indústria de bebidas, tendo apenas a variante “Braune Wildform” características suficientemente próximas às da cevada. Existem registros de bebidas feitas a base de painço (maltado e não maltado) em algumas regiões da África e Ásia, porém para a produção de cervejas ele é mais utilizado como adjunto na indústria, pois, assim como o Sorgo, o milhete possui temperaturas de gelatinização muito altas, o que dificulta a produção de cervejas com este cereal (ARENDE; ZANNINI, 2013b).

2.8.4 Arroz (*Oriza Sativa*)

Registros arqueológicos datados da China em 5.000 a.C. já evidenciavam a importância do arroz para a sociedade. Atualmente é o terceiro maior cultivo alimentar no mundo, sendo um dos principais alimentos da dieta para cerca de 70% da população mundial e, diferentemente dos outros cereais que são normalmente usados como ingrediente para os alimentos, sua principal forma de consumo é diretamente o seu grão cozido (FAO/ONU, 2021). Normalmente cultivado em regiões de clima ameno, apresenta alta adaptabilidade em climas diversos, o que explica ser o principal cultivo em diversos países do mundo, desde regiões quentes e secas até regiões frias no Andes (ARENDE; ZANNINI, 2013b).

Carboidratos (85%), proteínas (8%) e lipídios (3 %) são os principais componentes presentes no arroz, sendo o cereal com menor proporção de proteínas e um dos menores percentuais de lipídios em sua composição. Por ser um dos cereais sem glúten, é muito utilizado na dieta de pacientes celíacos (ARENDE; ZANNINI, 2013b). O uso do arroz na alimentação normalmente se dá no consumo direto do alimento ou na produção de alimentos processados a partir do grão, no âmbito das bebidas seu principal uso é para a produção de líquidos regionais de alto teor alcoólico, como o *Sake* no Japão e *Sujen* na Índia, seu uso na produção de cervejas normalmente é por meio da sua aplicação como adjunto em cervejas a base de cevada, devido à dificuldade de maltagem do grão (causada pela baixa atividade enzimática e alta temperatura de gelatinização) (MAYER *et al.*, 2014).

2.8.5 Trigo (*Triticum*)

Atualmente o trigo é o segundo cereal mais cultivado no mundo e impacta diretamente a qualidade nutricional da alimentação de diversas culturas, isso se dá principalmente pela sua facilidade e alto rendimento do cultivo, além de existirem indícios históricos que indiquem o início do cultivo de trigo como um dos acontecimentos que iniciaram os primeiros assentamentos da história (FAO/ONU, 2021). Existem diversos tipos de trigo que são cultivados, porém o mais comum é o *T. aestivum*, que é utilizado principalmente na produção de pão e corresponde a 95% de todo o cultivo mundial (ARENDE; ZANNINI, 2013b).

O grão é composto por aproximadamente 85% de carboidratos (cerca de 80% dos carboidratos presentes são amido), 13% de proteínas e cerca de 3% de lipídios. O trigo é rico em glúten, o que proporciona as características de viscosidade ideais para produção de alimentos como pães e bolos, mas torna o seu consumo inviável para intolerantes e celíacos (é comum também a existência de pessoas alérgicas a trigo).

Apesar de a sua principal forma de consumo alimentar ser como ingrediente na produção de pães, bolos, massas e outros alimentos característicos, o trigo está também muito presente

na indústria de bebidas, principalmente de cervejas. Existem alguns estilos de cervejas que utilizando trigo, sendo o mais famoso o estilo “*Wheat Beer*”, que tem como principal característica a exigência de ter no mínimo 40% do Malte utilizado como sendo Malte de trigo, o que imprime características muito específicas no produto final, principalmente devido ao maior teor de proteínas presentes no trigo em comparação ao da cevada (média de 13% do trigo e cerca de 10% da cevada). Outros estilos conhecidos que usam o trigo como parte fundamental da receita são o alemão “*Weizen*” e o belga “*Witbier*”. O trigo não maltado também é muito usado como adjunto em alguns estilos de cervejas para imprimir características específicas no produto final (ARENDE; ZANNINI, 2013b).

3 Materiais e Métodos

Este estudo consistiu em uma revisão de literatura com o objetivo de identificar as melhores formas de aplicação de cereais sem glúten na produção de cerveja.

O método de pesquisa aplicado durante esse trabalho consistiu na busca de artigos e livros em acervos digitais por meio de palavras chaves, começando por palavras chaves mais genéricas e tornando mais específicas conforme a necessidade. Os acervos utilizados foram o Scielo e o ScienceDirect, utilizando um filtro de pesquisas divulgadas a partir de 1995.

A utilização de palavras chaves amplas como “*beer*” (cerveja), “*malt*” (Malte) e “*wort*” (mosto) retornou artigos como “*Fundamentals of beer and hop chemistry*” (Keukeleire, 1998) e alguns livros como “*Case Studies in the beer sector*” (Capitello e Maehle, 2020). Entretanto foi a utilização da palavra chave “*Brewing*” (fermentação) que trouxe alguns principais resultados dessa etapa da pesquisa, retornando alguns livros que posteriormente foram utilizados como a base da revisão bibliográfica abordando os aspectos produtivos e as etapas presentes na produção da cerveja, obras como “*Handbook of Brewing*” (Graham, Stewart, Anstruther e cia, 2018), “*Beer a quality perspective*” (Bamforth, Russel e Stewart, 2009), “*Brewing Science and practice*” (Briggs, Boulton, Brookes e cia, 2004) foram as encontradas a partir desse termo. A palavra-chave “*Fermentation*” (fermentação) foi importante para retornar livros como “*Food, Fermentation and Micro-organisms*” (Bamforth e Cook, 2015). O mesmo racional foi aplicado na busca por informações referentes aos cereais mais utilizados no processo cervejeiro, ao utilizar palavras chave como “*UnMalted Cereals*” (cereais não maltados), “*Malted cereals*” (cereais maltados) , foi possível encontrar obras da literatura científica e artigos focados diretamente na natureza dos cereais e suas características, com informações que abordavam todos os possíveis aspectos desejados dos mais diversos cereais utilizados na indústria alimentícia, como o livro “*Cereal grains for the food and beverage industries*” (Arendt e Zannini, 2013).

Posteriormente foram utilizados termos chave como “*beer comparative*” (comparativo entre cervejas), “*beer malt comparatives*” (comparativo de Malte cervejeiro) e “*beer types comparatives*” (comparação entre tipos de cerveja) para encontrar os artigos focados nas relações entre os diversos tipos de cereais maltados e seus impactos no produto final, assim como termos mais específicos como “*sorghum malt*” (Malte de sorgo), “*Millet malt*” (Malte de milhete) e “*rice malt*” (Malte de arroz) para obter acesso as pesquisas específicas sobre as características desses cereais quando maltados, seu potencial para o uso na produção de

cerveja e seus usos. Também foram utilizadas as palavras-chave “celiac disease” (doença celíaca), “gluten” (glúten) e “gluten free beer” (cerveja sem glúten) para obter as informações referentes ao funcionamento do glúten e da doença celíaca, assim como o impacto da cerveja nesses pacientes.

4 Revisão bibliográfica

A seguir serão apresentados estudos referentes a produção de cervejas sem glúten a partir de cevada, sorgo e milhete.

4.1 Produção de cerveja sem glúten a partir da cevada

O papel de relevância da cerveja para a humanidade, tanto como alimento quanto como aspecto cultural, naturalmente gerou a necessidade de uma versão do produto direcionada para celíacos. Diversas pesquisas e estudos surgiram visando solucionar esse problema, porém foi só com o avanço da indústria cervejeira nas últimas décadas que foi possível avaliar a produção de cervejas (e alimentos em geral) sem glúten a partir de cereais que contêm glúten em sua composição (como a cevada e trigo) (HAGER *et al.*, 2014).

Por normalmente ser a base de cevada a cerveja não é um produto indicado para celíacos, porém algumas linhas de pesquisas têm como objetivo testar essa informação, visto que ao longo do processo produtivo a maioria das proteínas são precipitadas na etapa de produção do mosto e parte das proteínas restantes acabam adsorvidas na levedura durante a fermentação. Sendo assim, apenas um percentual reduzido de proteínas (e consequentemente de glúten) chega à cerveja produzida. Além disso, alguns compostos utilizados como adjuntos na indústria, como sílica gel, PVPP e ANPEP apresentam efeito na redução de glúten presente na cerveja (HAGER *et al.*, 2014).

4.1.1 “Aplicabilidade de diferentes tecnologias de cervejaria e tratamentos de minimização de glúten para a produção de cervejas de Malte de cevada sem glúten”

A seguir será detalhada a pesquisa desenvolvida por Watson e cia (2019), que decidiram explorar os efeitos do processo cervejeiro e adjuntos na redução do glúten presente na cerveja. Estes autores realizaram testes, tanto em escala piloto (experimento A, com 0,7 hl) quanto em escala industrial (em parceria com duas cervejarias), para encontrar resultados com aplicabilidade nos mais diversos cenários presentes no mercado cervejeiro mundial. Os experimentos B1 e B2 foram realizados na cervejaria A, que possui capacidade de 30 hl, e o experimento C foi realizado na cervejaria B, com capacidade de 3000 hl. Os adjuntos testados para a redução do glúten presente foram: taninos, AN-PEP (uma prolil endoprotease derivada da *Aspergillus niger* usada na etapa de fermentação), sílica gel (xerogel hidratado, normalmente usada para filtração após a maturação), *kieselguhr* (também conhecida como diatomita, uma rocha sedimentar silicosa usada para a filtração e clareamento na indústria alimentícia) e PVPP (Polivinilpolipirrolidona, usado para clareamento e estabilização da cerveja).

O experimento A consistiu em 4 cervejas puro Malte produzidas em uma escala de 0,7 hl: uma amostra referência, uma tratada com taninos, tratada com AN-PEP e uma tratada com taninos e AN-PEP. O processo aplicado foi brassagem por infusão e utilizada uma levedura de fermentação de topo, para fermentar durante 7 dias a 22 °C e maturado a 4°C durante 14 dias. Os taninos foram adicionados ao mosto durante o processo de fervura, e a enzima AN-PEP adicionada no início do processo de fermentação. No experimento B1 duas cervejas puro Malte foram produzidas em escala industrial de 30 hl: uma amostra de referência e uma amostra tratada com AN-PEP. No processo foi realizada uma fermentação de topo a 22 °C por 7 dias e maturação por 14 dias a 4 °C, com a adição da enzima AN-PEP no início da etapa

fermentativa. No experimento B2 foram produzidas 14 bateladas de 30 hl de acordo com o processo da cervejaria, onde a AN-PEP foi adicionada ao mosto no início da fermentação (22 °C por 7 dias) e sílica gel foi adicionado no tanque de maturação, após a maturação a cerveja foi clarificada por decantação. Já no experimento C foram produzidas duas cervejas Lager em escala industrial de 3000 hl: uma amostra de referência e outra tratada com AN-PEP. O processo de ambas consistiu em brassagem por infusão. Foi realizada uma fermentação de fundo por 5 dias a 12°C com posterior maturação a 0°C por 11 dias, com adição de sílica gel antes da etapa de maturação. A cerveja final foi clarificada utilizando filtração com *kieselguhr* e PVPP. A enzima AN-PEP foi adicionada durante a fermentação. O modelo de coleta de amostrar para testagem utilizado consistiu em coletar durante 5 etapas da produção (fim da brassagem, início e fim da fervura do mosto, início e fim da fermentação) tanto para a escala piloto quanto na escala industrial. Para a testagem foram usados kits “*Ridascreen Gliadin R700*” para a testagem R5-ELISA.

Os resultados obtidos nos experimentos foram apresentados em termos de ppm de glúten presente nas amostras, para ser possível avaliar onde se encaixavam nas faixas estabelecidas pelo CODEX (resultado inferior a 20ppm considerado alimento “gluten free” e inferior a 100ppm considerado como alimento como “low gluten”).

- Experimento A: A amostra referência manteve níveis de glúten elevados com 309 ppm, superando todas as faixas. Enquanto as amostras tratadas com ANN-PEP e com AN-PEP e taninos atingiram resultados de 68 ppm e 46 ppm, podendo ser classificadas como “low gluten”;
- Experimento B1: Apresentou resultados insuficientes e abaixo do esperado, com resultado de amostra referência de 397 ppm e semelhante para a amostra tratada;
- Experimento B2: Das 14 amostras produzidas todas foram classificadas como “gluten free”, a maioria apresentou resultados de glúten abaixo do limite inferior de detecção dos kits R5ELISA utilizados (<10ppm), com exceção da amostra 11, que apresentou 19 ppm, porém após a utilização de nova enzima as bateladas seguintes voltaram a apresentar resultados inferiores a 10 ppm;
- Experimento C: A amostra referência do processo apresentou resultado de 58 ppm, sendo classificada como “low gluten”, já a amostra tratada com enzima AN-PEP apresentou resultado < 10ppm, sendo classificada com “gluten free”.

Ao comparar os resultados os autores constataram a eficiência da enzima AN-PEP combinada com sílica gel na produção de cervejas sem glúten, estando ambos presentes em todas as amostras sem glúten produzidas. Outro aspecto importante apresentado é que não foi possível identificar diferenças nos testes sensoriais entre as amostras referência e as amostras sem glúten, nem na estabilidade do produto final, que acaba sendo até maior em função das etapas de tratamento com sílica gel e AN-PEP (WATSON *et al.*, 2019).

4.1.2 Comercialização de cervejas sem glúten

Já existem no mercado alternativas de cervejas a base de cevada produzidas sem glúten com a utilização das técnicas citadas anteriormente. O movimento de produção de cervejas

sem glúten iniciou em pequenas cervejarias artesanais que buscavam inovar e alcançar uma parcela nova de consumidores que adotam uma dieta sem glúten. Entretanto esse mercado já expandiu e cervejarias globais já criaram versões de seus produtos sem glúten, como é o caso das marcas “*Stella Artois*” e “*Estrella Galícia*” (AMBEV, 2021; ESTRELLA GALÍCIA, 2021).

4.2 Produção de cerveja sem glúten a partir de cereais alternativos.

Outra alternativa abordada para a produção de cervejas sem glúten visava a utilização de cereais naturalmente livres de glúten (como sorgo, milhete e arroz), seja em função da escassez de cevada (problema comum em regiões do continente africano), do menor custo de cultivo desses cereais ou para criação de novos produtos. Esses fatores levaram ao desenvolvimento de diversos estudos visando a produção de cerveja por cereais alternativos sem glúten, como alguns que serão abordados a seguir.

4.2.1 “Reavaliação do sorgo na produção de cervejas Lager”

Esse estudo realizado por Reginald Agu e Geoff Palmer consistiu em uma revisão das principais pesquisas relacionadas ao uso de Sorgo na cerveja que foram realizadas até o ano de 1997. Foram abordados alguns aspectos do Malte que influenciam no processo produtivo, como: teor de nitrogênio livre, níveis enzimáticos, rendimento dos extratos, açúcares fermentescíveis, níveis de proteínas e hidratação do grão.

Nos aspectos relacionados ao rendimento da produção de cerveja a partir do Malte de sorgo, foi observado um alto teor de nitrogênio livre (FAN) presente no sorgo quando comparado a outros cereais, característica importante para o crescimento da levedura durante a fermentação (HALN, 1966 , apud AGU; PALMER, 1998), já os níveis enzimáticos de amilases se mostraram próximo de zero no grão não germinado, sendo cerca de 25% inferiores aos da cevada germinada no grão de sorgo germinado (TAYLOR; ROBBINS,1993 , apud AGU; PALMER, 1998). Para análise do rendimento do mosto, foi utilizado durante a brassagem a técnica de decocção em três estágios, assim foi possível obter um rendimento dos extratos de 82,7%, resultado inferior aos normalmente obtidos em mosto de cevada, mas já suficiente para a produção cervejeira (DUFOR,1992, apud AGU; PALMER, 1998). Analisando os açúcares fermentescíveis, foi observado uma presença maior de glicose no Malte de sorgo em comparação ao Malte de cevada, o que influencia diretamente a capacidade da levedura de fermentar maltose, porém foi observado que os níveis elevados de FAN permitem que essa diferença seja compensada, possibilitando atingir os níveis ótimos de fermentação (GRIFFIN,1970, apud AGU; PALMER, 1998)(BAJOMO; YOUNG,1993, apud AGU; PALMER, 1998).

Foi identificada a necessidade de utilização de temperaturas superiores de germinação e brassagem para o Malte de sorgo em relação a cevada devido à temperatura de gelatinização do sorgo ser mais elevada. O experimento que apresentou melhores resultados de rendimento foi o que a germinação do grão ocorreu a 30 °C e a brassagem foi realizada em temperaturas superiores aos 65 °C recomendados para a cevada, quando comparadas a amostra que passou por mosturação a 65 °C apresentou rendimento do extrato cerca de 40% inferior (AGU; PALMER, 1998).

4.2.2 “Comparativo entre cervejas experimentais produzidas a partir de sorgo, milhete e cevada”

Na busca por obter resultados mais palpáveis Reginald Agu conduziu um estudo comparativo envolvendo cervejas a base de Malte de sorgo, milhete e cevada, onde realizou em escala laboratorial todo o processo produtivo das cervejas, desde produção do Malte até testes sensoriais dos produtos finalizados. Um método alternativo de brassagem por infusão com incremento de temperatura até 78 °C foi aplicado para os cereais, principalmente em razão de não existirem métodos unânimes comercialmente para a produção a base de milhete e sorgo. Foi obtido um rendimento de extrato de mosto de 88% para a cevada, resultado superior aos 66,8% e 71,2% do milhete e sorgo respectivamente, este resultado foi considerado estar de acordo com a disponibilidade de enzimas responsáveis pela conversão de amido em cada cereal (AGU, 1995).

Os teores alcoólicos obtidos foram 3,65%, 3,09% e 2,55% em volume para cevada, sorgo e milhete respectivamente, sinalizando uma possível relação com o tamanho do endosperma de cada cereal. Os aspectos sensoriais se mantiveram dentro do esperado pela pesquisa, com as cervejas de milhete e sorgo alcançando maiores valores de coloração em comparação ao Malte de cevada, indicando uma relação entre a maior presença de taninos nesses grãos, que normalmente já são utilizados para a produção de cervejas opacas (AGU, 1995).

Tabela 6 - Avaliação sensorial das cervejas produzidas em laboratório

	N° Provedores			Pontuação Total			Percentual de Aceitação (%)		
	MB	SB	BB	MB	SB	BB	MB	SB	BB
Coloração	20	20	19	51	58	64	62,7	77,6	87,5
Espuma	20	19	20	64	54	68	75	64,8	85,3
Amargor	20	19	19	46	52	60	56,5	61,5	75
Sabor	20	20	20	39	44	62	43,6	68,2	90,3

MB - Cerveja de milhete; SB - Cerveja de Sorgo; BB - Cerveja de Cevada. Pontuação em escala de 1-5. Entre 3-5 considerado aprovado

Fonte – Adaptada de Agu 1993

Observando a Tabela 6, onde a “Pontuação Total” é o somatório das notas recebidas pelas cervejas, os autores identificaram que tanto milhete quanto sorgo tiveram aceitação inferior a cerveja de cevada, com destaque para a baixa aceitação da espuma de sorgo, que apresentou dificuldades de estabilização e colapsava rapidamente após se formar e para a baixa aceitação do sabor do milhete, com resultados muito baixos mesmo com o pressuposto dos consumidores estarem mais habituados ao sabor da cevada. A conclusão do artigo aponta a possibilidade do uso combinado dos dois cereais para a produção de uma cerveja mais próxima das características da cevada e a recomendação de utilizar enzimas externas para suprir as necessidades do processo (AGU, 1995).

4.2.3 Estudos comparativos da α -amilase em milhete, sorgo e milho maltados.

Esse estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da utilização do Malte de sorgo, milhete e milho na produção de cerveja ao analisar as propriedades da α -amilase presente nesses cereais, uma vez que após o processo de maltagem o malte permanece estocado por um determinado período antes de ser utilizado na etapa de brassagem.

Após preparar os experimentos de forma que apenas a enzima α -amilase estivesse ativa durante os testes. O sorgo maltado apresentou os maiores níveis de atividade em 270 U/mg enquanto milhete e milho atingiram 133 e 52 U/mg respectivamente, a longevidade das enzimas do sorgo também se mostrou superior, com uma redução de 27% da atividade após 24 horas em comparação a 44% do milho e 30% do milhete. Foram realizados testes para medir a resistência das enzimas ao calor nas temperaturas de 50 °C e 80 °C, para identificar como estas se comportariam durante a etapa de secagem do Malte (que costuma ocorrer na faixa de 50-55 °C). O Malte de sorgo apresentou os melhores resultados, mantendo as enzimas estáveis até 50 °C e aos 80 °C manteve cerca de 20% da atividade enzimática, o milhete teve resultados levemente inferiores com uma queda para 18% aos 80 °C, porém o milho já na temperatura de 50 °C teve sua atividade enzimática interrompida, corroborando com o porquê de seu Malte não ser normalmente utilizado na indústria cervejeira (ADEWALE; AGUMANU; OTIH-OKORONKWO, 2006).

4.2.4 “Efeitos da temperatura de maltagem e métodos de brassagem na composição do mosto de sorgo e no sabor da cerveja”

Neste estudo realizado por Geoff Palmer (2001), o objetivo foi determinar qual o efeito que a temperatura de maltagem e o método de brassagem têm na composição do mosto e no sabor da cerveja tipo Lager de sorgo, também foram realizados os testes em Malte de cevada para fins de comparação entre a brassagem dos Maltes.

Inicialmente os grãos de sorgo (1kg) foram macerados em temperaturas de 20 °C e 25 °C e posteriormente ambas as amostras foram para a etapa de secagem a 50°C. Três métodos de brassagem foram avaliados: Brassagem por infusão a 65 °C, brassagem por decantação a 80 °C e brassagem por decantação a 100 °C. No método de infusão a 65 °C, 50 g de Malte foram adicionados a 300 ml de água destilada a 45 °C, essa mistura foi aquecida até 65 °C em 1 °C/min e ficou repousando nessa temperatura por 1 h para então ser resfriada até 20 °C, então o mosto foi transferido para um frasco de 515 ml e o volume completado com água destilada. Uma modificação do método de infusão, o método por decantação consiste em 50 g de Malte aquecido em 45 °C por 30 min, então 150 ml do sobrenadante enzimático foram retirados enquanto o mosto era aquecido até 80 °C e mantido nessa temperatura por 30 min, então o mosto foi resfriado até 50 °C e o sobrenadante foi adicionado, quando a mistura então foi homogeneizada e aquecida até 65 °C onde foi mantida por 1 h, após isso foi aquecida até 75 °C e mantida por 10 min, então o mosto foi transferido para um frasco de 515 ml sob o mesmo método da infusão. O mesmo método de decantação foi repetido com o mosto sendo aquecido até 100 °C após a remoção do sobrenadante enzimático ao invés de 80 °C. Todas as amostras foram fermentadas utilizando a levedura *S. carlsbergensis* sob temperatura de 8 °C durante 5 dias e posteriormente incubadas a 0 °C durante 21 dias. O mosto foi analisado usando cromatografia líquida de alta performance (HPLC) para medir o nível de açúcares presentes, os extratos fermentescíveis foram medidos de acordo com os métodos definidos pelo Institute of Brewing. Os compostos relacionados ao sabor e aspectos sensoriais da cerveja, como etanol, acetaldeído e outros ésteres, foram determinados por meio de cromatografia líquido-gás (IGYOR; OGBONNA; PALMER, 2001).

O método de infusão apresentou baixo rendimento (27%) independentemente do sorgo ter sido macerado a 20 °C ou 25 °C, já o mosto decantado a 80 °C e 100 °C apresentou rendimento superior, com destaque para a amostra a 100 °C que obteve 78% e 77% (para o

sorgo a 20 °C e 25 °C respectivamente), indicando que o sorgo foi gelatinizado adequadamente a 100 °C. Ao analisar as amostras maceradas a 20 °C e 25 °C, o sorgo macerado a 25 °C apresentou maiores rendimentos de açúcares e extratos fermentescíveis. Já a amostra de cevada apresentou resultados diferentes, com o maior rendimento na brassagem por infusão e teve uma redução considerável no rendimento das amostras decantadas. O principal fator influenciando a diferença no resultado são as diferentes temperaturas de gelatinização de cada cereal. O sorgo decantado a 100°C também apresentou os maiores valores de etanol (3,9%) devido ao maior rendimento na produção dos açúcares do mosto. Além disso, também apresentou níveis de acetaldeído próximos ao da cevada (57 ppm do sorgo e 59 ppm da cevada), resultado importante para a proximidade dos aspectos sensoriais entre as cervejas de cada cereal. Com base nos resultados (Tabela) o estudo conclui que o sorgo decantado a 100 °C e macerado a 25 °C apresentou os melhores resultados, tanto de rendimento quanto de qualidade de sabor da cerveja, identificando que os métodos aplicados para melhor rendimento na cevada não são adequados para rendimento na produção de cerveja de sorgo (IGYOR; OGBONNA; PALMER, 2001).

Tabela 7 – Efeitos da temperatura de maltagem e método de brassagem nas propriedades do mosto de sorgo

Parâmetros	Infusão a 65°C			Decantação a 80°C			Decantação a 100°C		
	Cevada	Sorgo (20°C)	Sorgo (25°C)	Cevada	Sorgo (20°C)	Sorgo (25°C)	Cevada	Sorgo (20°C)	Sorgo (25°C)
HWE (l ^o /kg)	289	102	102	287	264	268	278	299	296
SE (%)	75	27	27	76	68	70	72	78	77
F (%)	69	77	72	66	72	72	66	73	79
FE (%)	51	20	19	49	49	50	48	57	61
RS (ug/l)	308	186	187	308	422	422	294	378	382
FAN (mg/l)	141	135	118	119	177	173	110	93	91
TSN (%)	0,61	0,41	0,43	0,37	0,38	0,33	0,32	0,35	0,34
Viscosidade(cP)	1,58	1,35	1,3	1,59	1,36	1,38	1,59	1,54	1,53
Etanol (%)	3,01	0,9	1	2,9	2,8	3,1	2,9	3,8	3,9
Acetaldeído(ppm)	56	2,8	2,5	58	64	59	59	58	57
Acetona(ppm)	10	3,3	13	12	0	0	8,4	0,9	0,8
Acetato de etila(ppm)	10	0	0	13	0	1,1	4,6	4,2	3,4
Isobutanol(ppm)	17	7,6	2	17	22	18	16,2	22	17
Álcool isoamílico(ppm)	58,5	22,8	19,3	63,3	64,7	60,1	41,3	69,3	61,4

HWE - extrato de água quente; SE - extrato solúvel; F- fermentabilidade; FE - extrato fermentescível; RS - açúcares; FAN - nitrogênio livre de amino; TSN - total de nitrogênio solúvel

Fonte -Traduzida de Igyor, Ogbonna e Palmer, 2000

4.2.5 “Efeito dos procedimentos de moagem e maceração nas propriedades do mosto de Malte de milhete”

No ano de 2000 Eneje, Obiezekie, Aloh e colaboradores divulgaram artigo que visava analisar a viabilidade da utilização do milhete como alternativa de cereal cervejeiro,

explorando o impacto de diferentes procedimentos de moagem e brassagem nas propriedades finais da cerveja produzida a partir de milhete, visto que ele possui características semelhantes às do sorgo.

Durante a produção do Malte, os grãos de milhete foram macerados por 16 horas a temperatura de 25 °C e posteriormente germinados por 5 dias sob a mesma temperatura, a secagem ocorreu durante 24 horas com temperatura de 50 °C. Foram testados dois métodos de moagem: moagem a seco utilizando um moinho de Buhler-Miag para Malte com 4% de umidade e moagem úmida foi utilizado novamente um moinho de Buhler-Miag com Malte inicialmente 4 % que então foi embebido em água durante uma hora para alcançar 6 % de umidade. Foram utilizadas três alternativas de brassagem: por indução a 65 °C, por decantação a 65 °C e por decocção dupla. Os métodos de decantação e indução seguem os mesmos procedimentos apresentados no item 2.8.4 alterando apenas a temperatura, a brassagem por decocção dupla consistiu em remover uma fração do mosto após aquecer por 10 min em água fervendo, então retornar essa fração com o mosto a 65 °C por 30 min, a segunda decocção ocorreu retirando nova fração do mosto fervendo e retornar após 30 min sob 75 °C. Ao comparar os métodos de brassagem, a decantação apresentou para ambos os métodos de moagem o maior rendimento de extrato (320 l/kg) em relação a infusão e decocção (203 e 265 l/kg respectivamente), além de indicar uma ocorrência maior das reações de maillard, devido aos maiores valores de coloração e maiores valores de viscosidade, indicando uma possível liberação de beta glucanos maior que dos outros métodos. As amostras que passaram por brassagem por decocção apresentaram menores valores relacionados a propriedades enzimáticas (rendimento de extrato, FAN e nitrogênio solúvel) em função das altas temperaturas que ocorrem na decocção, o que pode ter levado a desnaturação de parte das enzimas do mosto (ENEJE *et al.*, 2001).

Analisando os resultados para os diferentes métodos de moagem, os autores identificaram que a moagem úmida produziu valores de extrato superiores, porém com coloração inferior a moagem seca, mas não foi possível identificar a causa desse fenômeno. Já os valores referentes ao nitrogênio solúvel e ao FAN presentes no mosto não apresentaram alteração significativa entre os métodos úmido e seco, se mantendo aproximadamente constantes. Entre as principais conclusões do estudo estão a superioridade da espuma gerada pelo mosto de milhete (problema comum entre os cereais além da cevada) e que a decantação é o procedimento com maior rendimento para o milhete em função da sua alta temperatura de gelatinização, que leva a baixos rendimentos com os métodos tradicionais aplicados na cevada (como a infusão). Já os métodos de moagem ficam em aberto de acordo com o objetivo para o produto final, visto que o ganho de rendimento da moagem úmida se reflete em uma coloração inferior a proporcionada pela moagem a seco (ENEJE *et al.*, 2001).

5 Discussões e Considerações finais

Conforme divulgado pela “Celiac Disease Foundation”, cerca de 1% da população mundial apresenta algum quadro de CD, isso levou um avanço no desenvolvimento e comercialização de produtos com o selo “Gluten Free”. Entre esses produtos está a cerveja, seu papel sociocultural levou a busca por formas de produção que reduzissem o glúten presente para níveis que permitissem o rótulo “Gluten Free” (<20ppm). Conforme comprovado por Watson (Seção 4.1.1) a utilização da combinação dos adjuntos AN-PEP e sílica gel se mostrou eficiente para a redução do glúten presente em cervejas a partir de Malte de cevada sem causar alterações nas características sensoriais do produto e já é aplicada em cervejas comerciais.

Por outro lado, a produção de cerveja a partir de cereais sem glúten ainda é um campo em desenvolvimento. Cereais sem glúten, como o sorgo, milhete, milho e arroz já são amplamente utilizados na indústria cervejeira como adjuntos para imprimir características específicas em alguns tipos de cerveja, porém não como matéria prima principal para o Malte utilizado. Este trabalho revisou estudos que tivessem como foco a utilização de cereais sem glúten em busca da melhor aplicação do Malte desses cereais para a produção de cerveja sem glúten.

O sorgo foi o principal cereal analisado nesse trabalho, a principal limitação para o uso do seu Malte na produção cervejeira era a baixa atividade enzimática e baixo rendimento do extrato. Conforme indicado na Seção 4.2.1, ao aplicar ao sorgo os mesmos processos utilizados para a cevada os resultados obtidos foram inferiores, em função de alguns fatores como: a temperatura de gelatinização do Sorgo ser superior à da cevada, diferente proporção dos açúcares (presença maior de glicose em níveis próximos ao da maltose). Essas dificuldades foram parcialmente contornadas ao testar um processo ajustado para as especificações do sorgo, com germinação sob temperatura de 30°C e brassagem utilizando método de decocção tripla em temperaturas elevadas (não foram especificadas as temperaturas utilizadas, apenas que eram superiores aos 65°C). O produto final obtido ainda apresentou problemas na estabilidade da espuma e coloração mais turva, mas não foram realizados testes sensoriais.

Outro estudo realizado por Agu (Seção 4.2.2) utilizou outra abordagem, testando o mesmo método de brassagem para cevada, sorgo e milhete. O método consistiu em infusão com aumento gradual de temperatura até 78°C, visando contornar a alta temperatura de gelatinização do sorgo e do milhete. Os resultados obtidos pela cevada foram superiores, tanto em rendimento quanto em aceitabilidade durante a etapa de testagem sensorial (Tabela), também foi possível identificar uma deficiência na espuma do sorgo e nos aspectos referentes ao sabor do milhete. A comparação entre milhete e sorgo também foi explorada no estudo apresentado na Seção 4.2.3, onde foi comparada a atividade enzimática do sorgo, milhete e milho e também a resistência das enzimas as elevadas temperaturas utilizadas durante o processo de secagem do Malte. O sorgo além de apresentar os maiores níveis enzimáticos apresentou também a maior resistência as altas temperaturas, reforçando seu potencial como Malte cervejeiro, o milho foi descartado devido à rápida degradação das suas enzimas sob altas temperaturas (atividade enzimática foi interrompida logo aos 50°C).

Sorgo e milhete também foram explorados nos estudos das seções 4.2.4 e 4.2.5, onde foram analisadas o impacto de diferentes técnicas de brassagem na utilização do Malte desses cereais para a produção de cerveja. Para o Sorgo, foi observado que o método com os piores

resultados em comparação com a cevada foi a infusão, que é o método normalmente aplicado na cevada, reforçando ainda mais a diferença entre os dois cereais e a necessidade de aplicar métodos específicos para cada cereal. A decantação a 100°C obteve os melhores resultados, principalmente em razão da temperatura de gelatinização do Sorgo, porém a amostra decantada a 80°C já apresentou resultados satisfatórios em comparação com a cevada. Um destaque importante dentre os resultados obtidos por esse estudo, está nos valores apresentados na Tabela , onde podemos ver que os valores de acetatos e álcoois (compostos importantes para os aspectos sensoriais da cerveja) entre sorgo decantado e cevada por infusão foram semelhantes, indicando que esse poderia ser o método recomendado para um produto a base de Malte de Sorgo. Na Seção 4.2.5 é possível destacar que o mesmo método de brassagem que apresentou os melhores resultados para o Sorgo também apresentou os melhores resultados para o milhete, com apenas a diferença da temperatura aplicada durante a decantação, indicando que a brassagem por decantação pode ser o método mais recomendável para cereais com altas temperaturas de gelatinização.

Comparando sorgo e milhete, é possível identificar que além de apresentarem características semelhantes no aspecto produtivo, onde ambos apresentam altas temperaturas de gelatinização e tem na decantação seu método com maior eficiência, ambos possuem deficiências que podem ser consideradas complementares ao analisar o produto final. O sorgo tem níveis enzimáticos e rendimento adequados em comparação aos da cevada além de produzir uma cerveja com boa aceitação de sabores, porém apresenta uma espuma de baixa estabilidade, aspecto importante na qualidade da cerveja. Já o milhete tem uma atividade enzimática inferior ao sorgo (conforme indicado na seção 4.2.3) e apresentou uma aceitação menor dos sabores no teste sensorial, mas apresenta uma estabilidade da espuma próxima à da cevada.

Após a revisão da literatura e analisar os resultados dos estudos, surge a possibilidade de produção de uma cerveja a partir de uma mistura de malte de sorgo e de milhete utilizando método de mosturação por decantação, visando complementar as características obtidas em laboratório por cada um dos maltes, visto que, conforme indicado na Seção 2.3.1 e Seção 2.4, a produção de cervejas com mais de um tipo de Malte é uma técnica bastante utilizada na indústria, pois permite a produção de cervejas com características únicas. Além disso, essa hipótese de produção vai de encontro com a mudança do mercado cervejeiro e aumento das cervejarias artesanais indicados na Seção 2.1, pois uma cerveja produzida a partir de um mix de Maltes possui potencial de características sensoriais não encontradas em cervejas a partir de cevada, surgindo como uma alternativa interessante para os consumidores em geral, não apenas os celíacos.

Como sugestão de trabalhos futuros, indica-se a necessidade de encontrar o melhor método produtivo para essa cerveja. Testes laboratoriais precisam ser realizados para obter a melhor proporção entre os maltes e também qual temperatura de decantação deve ser utilizada, visto que nos estudos apresentados milhete atingiu seu melhor rendimento ao ser decantado a 65°C e sorgo após decantação a 100°C.

REFERÊNCIAS

ADEWALE, Isaac; AGUMANU, Edith; OTIH-OKORONKWO, Florence. Comparative studies on α -amylases from malted maize (*Zea mays*), millet (*Eleusine coracana*) and Sorghum (*Sorghum bicolor*). **Carbohydrate Polymers - CARBOHYD POLYM**, [s. l.], v. 66, p. 71–74, 2006.

AGU, Reginald C. Comparative study of experimental beers brewed from millet, sorghum and barley malts. **Process Biochemistry**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 311–315, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0032959295870393>.

AGU, R C; PALMER, G H. A reassessment of sorghum for lager-beer brewing. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 253–261, 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852498000479>.

AMBEV. **Stella Artois sem glúten**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ambev.com.br/marcas/cervejas/stella-artois/stella-artois-sem-gluten>. Acesso at: 8 Nov. 2021.

AQUARONE, Eugenio *et al.* Biotecnologia Industrial. *In*: [S. l.: s. n.], 2001. v. 4, p. 91–144.

ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele. 1 - Wheat and other Triticum grains. *In*: ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele (org.). **Cereal Grains for the Food and Beverage Industries**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2013a. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 1–67e. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857094131500012>.

ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele. 4 - Barley. *In*: ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele (org.). **Cereal Grains for the Food and Beverage Industries**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2013b. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 155–201e. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857094131500048>.

ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele. 9 - Millet. *In*: ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele (org.). **Cereal Grains for the Food and Beverage Industries**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2013c. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 312–350. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857094131500097>.

ARENDR, Elke K; ZANNINI, Emanuele. **Cereal Grains for the Food and Beverage Industries**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2013d. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857094131500085>.

BAIK, Byung-Kee; ULLRICH, Steven. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. **Journal of Cereal Science**, [S. l.], v. 48, p. 233–242, 2008.

BAMFORTH, Charles W (org.). **Brewing Materials and Processes**. [S. l.]: Elsevier, 2016.

BAMFORTH, Charles; COOK, David. **Food, Fermentation, and Micro-organisms**. 1st. ed. [S. l.: s. n.], 2005.

BOULTON, Christopher. **Encyclopedia of Brewing**. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013.

BREWERS ASSOCIATION. **2021 Beer Style Guidelines**. [S. l.: s. n.], 2021.

BRIGGS, Dennis E *et al.* (org.). 2 - Malts, adjuncts and supplementary enzymes. *In: Brewing*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2004a. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 11–51. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855734906500027>.

BRIGGS, Dennis E *et al.* (org.). 9 - Chemistry of wort boiling. *In: Brewing*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2004b. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 306–325. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978185573490650009X>.

BRIGGS, Dennis E *et al.* (org.). 10 - Wort boiling clarification, cooling and aeration. *In: Brewing*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2004c. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 326–362. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855734906500106>.

BRIGGS, Dennis E *et al.* (org.). 11 - Yeast biology. *In: Brewing*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2004d. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 363–400. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855734906500118>.

BRIGGS, Dennis E *et al.* (org.). 12 - Metabolism of wort by yeast. *In: Brewing*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2004e. (Woodhead Publishing Series in Food Science,

Technology and Nutrition). p. 401–468. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978185573490650012X>.

BRIGGS, Dennis E *et al.* (org.). 13 - Yeast growth. *In: Brewing*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2004f. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 469–508. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855734906500131>.

CATASSI, Carlo; FASANO, Alessio. 1 - Celiac disease. *In: ARENDT, Elke K; DAL BELLO, Fabio* (org.). **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. San Diego: Academic Press, 2008. p. 1–1. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123737397500034>.

CDF. **CELIAC DISEASE FOUNDATION**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://celiac.org/>. Acesso at: 6 Nov. 2021.

DE KEUKELEIRE, Denis. Fundamentals of beer and hop chemistry. **Química Nova**, [s. l.], v. 23, n. 1, 2000.

ENEJE, L O *et al.* Effect of milling and mashing procedures on millet (Pennisetum maiwa) malt wort properties. **Process Biochemistry**, [s. l.], v. 36, n. 8, p. 723–727, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032959200002685>.

ESTRELLA GALÍCIA. **Estrella Galícia sem Glúten**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://estrellagalicia.pt/produto/estrella-galicia-sem-gluten/>. Acesso at: 8 Nov. 2021.

FALCHUK, Z Myron; ROGENTINE, G Nicholas; STROBER, Warren. Predominance of histocompatibility antigen HL-A8 in patients with gluten-sensitive enteropathy. **The Journal of Clinical Investigation**, [s. l.], v. 51, n. 6, p. 1602–1605, 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.1172/JCI106958>.

FAO/ONU. **FAOSTAT**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>. Acesso at: 5 Nov. 2021.

GUERDRUM, Lindsay J; BAMFORTH, Charles W. Prolamin Levels through Brewing and the Impact of Prolyl Endoproteinase. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 35–38, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2012-0130-01>.

HAGER, Anna-Sophie *et al.* Gluten free beer – A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 44–54, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422441400003X>.

HORNSEY, Ian S. **A History of Beer and Brewing**. [S. l.]: The Royal Society of Chemistry, 2003. (RSC Paperbacks).

IGYOR, M A; OGBONNA, A C; PALMER, G H. Effect of malting temperature and mashing methods on sorghum wort composition and beer flavour. **Process Biochemistry**, [s. l.], v. 36, n. 11, p. 1039–1044, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032959200002673>.

KOEHLER, Peter; WIESER, Herbert; KONITZER, Katharina. Chapter 1 - Celiac Disease—A Complex Disorder. *In*: KOEHLER, Peter; WIESER, Herbert; KONITZER, Katharina (org.). **Celiac Disease and Gluten**. Boston: Academic Press, 2014. p. 1–96. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124202207000018>.

LYONS, T Pearse. Craft Brewing. *In*: HANDBOOK OF BREWING. [S. l.]: CRC Press, 2017.

MAYER, Heidi *et al.* Production of a Saccharifying Rice Malt for Brewing Using Different Rice Varieties and Malting Parameters. **Journal of agricultural and food chemistry**, [s. l.], v. 62, 2014.

PAPAGEORGIU, Maria; SKENDI, Adriana. 1 - Introduction to cereal processing and by-products. *In*: GALANAKIS, Charis M (org.). **Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2018. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). p. 1–25. *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081021620000010>.

PHIARAIS, Blaise P Nic; ARENDT, Elke K. Malting and brewing with gluten-free cereals. *In*: , 2008. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2008.

PIRES, Eduardo. **Biochemistry of Beer Fermentation**. [S. l.: s. n.], 2015.

SINDICERV. **O setor em números**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>. Acesso at: 21 Oct. 2021.

STEVENS, Roger *et al.* **Brewing**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2004. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition). *E-book*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855734906500040>.

STEWART, Graham; RUSSEL, Inge; ANSTRUTHER, Anne. **Handbook of Brewing**. 3. ed. [S. l.]: CRC Group, 2017.

WATSON, H G *et al.* Applicability of different brewhouse technologies and gluten-minimization treatments for the production of gluten-free (barley) malt beers: Pilot- to industrial-scale. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 245, p. 33–42, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877418304035>.