



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 – TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA



**ANÁLISE DO IMPACTO DO TEMPO DE GERMINAÇÃO EM
PARÂMETROS DE QUALIDADE DO MALTE DE CEVADA:
ESTUDO DE CASO**

Autor: Lucas Monzeleski Sica

Orientador: Prof.^a Daniele Misturini Rossi

Porto Alegre, abril de 2022.

Autor: Lucas Monzeleski Sica

Análise do Impacto do Tempo de Germinação em Parâmetros de Qualidade do
Malte de Cevada: Estudo de Caso

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.

Orientador: Prof.^a Daniele Misturini Rossi

Banca Examinadora:

Dr.^a Débora Pez Jaeschke, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Jordana Corralo Spada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, abril de 2022.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer, primeiramente, aos meus pais, Lidia Monzeleski Sica e Sergio Bento Sica, e meu irmão, Stéfano Monzeleski Sica, por serem a minha base para chegar até aqui. Meus pais nunca mediram esforços para investir em minha educação, apesar das dificuldades que já vivenciamos juntos. Essa conquista é nossa!

Agradeço à UFRGS, por ter me fornecido ensino de qualidade, me permitindo já estar inserido no mercado de trabalho. Concluir a graduação será um sonho realizado.

Agradeço à Daniele Misturini Rossi, minha orientadora, que forneceu valiosos conselhos e apoio moral durante a elaboração deste trabalho de conclusão.

Agradeço a Daniel Coelho, Gabriela Coelho e Mara Corrêa, pessoas pelas quais eu tenho muito carinho e que me acompanharam em grande parte da graduação, período em que foram grandes incentivadores.

Agradeço aos meus amigos de longa data, Antonio Garavello, Eduardo Bueno, Gabriela Bueno e Thales Sant'Anna, pois grandes amizades, além de proporcionarem bons momentos, tornam muito mais suportáveis os momentos difíceis da vida.

Agradeço aos amigos e colegas da UFRGS, especialmente Augusto Guidali, Daniel Salcides, Guilherme Bonotto, Gustavo Saliba, João Antonio de Paula e Thomas Cardoso, responsáveis por tornar a jornada da graduação muito mais leve, e com os quais desenvolvi amizade que pretendo levar para a vida toda.

À Ambev, por proporcionar ambiente excelente para o meu desenvolvimento profissional e onde, inclusive, construí grandes amizades.

Resumo

O Brasil é detentor de um dos maiores mercados de cerveja do mundo. A produção de malte com elevada qualidade, um de seus principais ingredientes, é de grande interesse econômico. A malteação, como é chamado o processo de produção de malte, pode ser dividido em 3 etapas principais: maceração, germinação e secagem. A maceração fornece à cevada a umidade necessária para que ocorram as reações físico-químicas da etapa de germinação, que cessará somente após ser iniciada a etapa de secagem. Maltes com elevado teor de extrato e alta atividade enzimática são de grande interesse para as cervejarias. A etapa de germinação, que é a mais longa da malteação, levando de 3 a 4 dias, promove as principais modificações na estrutura físico-química da cevada, que são decorrentes de processos de síntese e ativação enzimática, principalmente. A longa duração da germinação impacta diretamente na produtividade de uma maltaria. A duração da etapa de germinação só poderá ser otimizada se houver, previamente, avaliação dos possíveis impactos à qualidade do malte. O objetivo deste estudo foi avaliar, através de correlações estatísticas, o impacto do tempo de germinação nos principais parâmetros de qualidade do malte. O presente trabalho decorreu da análise dos resultados de qualidade de 120 fabricações de malte oriundas de uma mesma variedade argentina de cevada, nas quais o tempo total de germinação foi a principal variável do processo, variando na faixa de 70 a 90 horas, com os demais parâmetros operacionais mantendo-se relativamente uniformes. Os parâmetros de qualidade correlacionados com o tempo total de germinação foram o teor de extrato, a concentração de β -glucanos e o poder diastásico. A análise estatística através do software Minitab® evidenciou que, para as fabricações com os maiores tempos totais de germinação, há uma tendência ($p < 0,05$) de menor teor de extrato, menor concentração de β -glucanos e maiores valores de poder diastásico. A redução do teor de extrato pode ser vista como negativa, pois consiste nos compostos solúveis que servirão para a nutrição das leveduras na cervejaria. A redução da concentração de β -glucanos é positiva, visto que baixas concentrações de β -glucanos indicam que houve boa modificação do malte, resultando, adequadamente, em mosto com baixa viscosidade. A tendência de maiores valores de poder diastásico é positiva, pois indica boa atividade das principais enzimas do malte, as amilases, que são responsáveis pela quebra do amido em açúcares fermentáveis, desejáveis durante o processo de produção da cerveja.

Palavras-chave: malte, malteação, germinação, tempo de germinação, extrato, β -glucanos, poder diastásico.

Abstract

Brazil holds one of the largest beer markets in the world. The production of high-quality malt, one of its main ingredients, is of great economic interest. Malting, as the process of producing barley is called, can be divided into 3 main stages: steeping, germination, and kilning. Steeping provides the barley with the necessary moisture for the physicochemical reactions of the germination stage to occur, which will cease only after the kilning stage has started. Malts with a high extract content and high enzymatic activity are of great interest to breweries. The germination stage, which is the longest in malting, takes from 3 to 4 days, promotes the main changes in the physicochemical structure of barley, which are mainly due to processes of synthesis and enzymatic activation. The long duration of germination directly impacts the productivity of a malt plant. The duration of the germination stage can only be optimized if there is, in advance, an assessment of possible impacts on malt quality. The objective of this study was to estimate the statistical correlation between the total germination time performed and certain malt quality parameters. The present work resulted from the analysis of the quality results of 120 malt productions from the same Argentine variety of barley, in which the total germination time was the main variable of the process, varying in the range of 70 to 90 hours, with the others operating parameters remaining relatively uniform. The quality parameters correlated with total germination time were extract content, β -glucans concentration, and diastase power. Statistical analysis using Minitab® software showed that, for fabrications with the highest total germination times, there is a tendency ($p < 0.05$) of lower extract content, lower concentration of β -glucans and higher values of diastase power. The reduction of the extract content can be seen as negative, as it consists of the soluble compounds that will serve for the nutrition of the yeasts in the brewery. The reduction in the concentration of β -glucans is positive, since low concentrations of β -glucans indicate that there was good malt modification, resulting, properly, in wort with low viscosity. The trend towards higher values of diastase power are positive, as it indicates good activity of the main malt enzymes, amylases, which are responsible for the breakdown of starch into fermentable sugars, desirable during the beer production process.

Keywords: *malt, malting, germination, germination time, extract, β -glucans, diastase power.*

Lista de Figuras

Figura 1. Cevada de duas fileiras (a) e cevada de seis fileiras (b).....	4
Figura 2. Série histórica da Conab de área de cultivo e produção de cevada no Brasil.....	5
Figura 3. Tanques cilíndrico-cônicos de maceração em uma maltaria.....	8
Figura 4. Compartimento retangular de germinação com máquina de revolvimento.	9
Figura 5. Cevada após 4 dias de germinação.	10
Figura 6. Diagrama de componentes do grão de cevada.	11
Figura 7. Mosto congresso produzido a partir de maltes com diferentes colorações.....	16
Figura 8. Caminhão descarregando cevada sobre a moega.	21
Figura 9. Funil de maceração durante período seco.	22
Figura 10. Caixas de germinação durante a etapa de germinação.....	23
Figura 11. Estufa de secagem durante o carregamento.	24
Figura 12. Gráfico de dispersão da presença de extrato em função do tempo total de germinação.....	28
Figura 13. Gráfico de dispersão da concentração de β -glucanos em função do tempo total de germinação.....	29
Figura 14. Diagramas de Haworth das ligações β -1,3 e β -1,4 das cadeias de β -glucanos.	30
Figura 15. Gráfico de dispersão do poder diastásico em função do tempo total de germinação.	31

Lista de Tabelas

Tabela 1. Composição química média da cevada em massa seca.	5
Tabela 2. Especificações de qualidade da maltaria estudada.	20

Lista de Símbolos

ppm – Partes por milhão

CO₂ – Dióxido de carbono

Lista de Abreviaturas e Siglas

ASBC – American Society of Brewery Chemists

DON – Desoxinivalenol

EBC – European Brewery Convention

FAN – Free Amino Nitrogen

IoB – Institute of Brewing

MEBAK – Middle European Brewing Analysis Commission

WK – Windisch-Kolbach

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	A PRODUÇÃO DA CERVEJA.....	3
2.2	A CEVADA.....	3
2.3	ETAPAS OPERACIONAIS DA MALTEAÇÃO.....	6
2.3.1	<i>Limpeza, classificação e armazenamento da cevada</i>	6
2.3.2	<i>Maceração</i>	6
2.3.3	<i>Germinação</i>	8
2.3.4	<i>Secagem</i>	12
2.4	ANÁLISES E AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MALTE.....	14
2.4.1	<i>Classificação</i>	14
2.4.2	<i>Peso Hectolitro</i>	14
2.4.3	<i>Vitreosidade e friabilidade</i>	15
2.4.4	<i>Umidade</i>	15
2.4.5	<i>Mosto congresso</i>	15
2.4.5.1	<i>Extrato</i>	16
2.4.5.2	<i>Cor de mosto</i>	16
2.4.5.3	<i>Cor de cocção</i>	17
2.4.5.4	<i>Nitrogênio solúvel</i>	17
2.4.5.5	<i>Índice de Kolbach</i>	17
2.4.5.6	<i>Análise de Nitrogênio Livre (Free Amino Nitrogen, FAN)</i>	18
2.4.5.7	<i>Poder Diastásico</i>	18
2.4.5.8	<i>β-glucanos</i>	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	DADOS DE ESTUDO.....	19
3.2	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	20
3.3	ANÁLISE DO MALTE	25
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
4	ESTUDO DE CASO	27
4.1	VARIAÇÃO DO EXTRATO	27
4.2	VARIAÇÃO DA PRESENÇA DE B-GLUCANOS	29
4.3	VARIAÇÃO DO PODER DIASTÁSICO.....	31
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	33
	REFERÊNCIAS.....	35

1 Introdução

O Brasil é, atualmente, detentor de um dos maiores mercados de cerveja do mundo. O malte de cevada é um de seus principais ingredientes, sendo de grande interesse econômico que seja produzido em larga escala e com grande qualidade. De modo geral, o processo de produção de malte a partir da cevada, também chamado de malteação, pode ser dividido em 3 etapas principais: maceração, germinação e secagem. A maceração é responsável pela hidratação inicial do grão, indispensável para que ocorram na germinação as reações físico-químicas fundamentais que modificarão a estrutura celular da cevada, em processo que irá cessar somente na última etapa, a secagem – de grande relevância nos aspectos sensoriais do malte.

Todo malte produzido deve passar por rigoroso controle de qualidade ao longo de toda cadeia de produção, que ocorre desde a colheita da cevada até a chegada do malte à cervejaria. Este controle pode ser feito através da análise de uma série de parâmetros, buscando garantir a qualidade da cerveja, o atendimento das características sensoriais pretendidas e, inclusive, o bom andamento do processo cervejeiro.

Para que seja desenvolvido um estudo de caso a respeito da produção de malte de cevada, é necessário o domínio dos diversos parâmetros envolvidos no processo de malteação. No presente trabalho serão discutidos, a partir de dados da literatura, a matéria-prima, as etapas operacionais de produção, as alterações físico-químicas sofridas pelos grãos ao longo do processo e as características de interesse para o processo de produção de cerveja.

A germinação dos grãos é a responsável pelas suas principais alterações físico-químicas, modificando o interior da cevada através de processos que envolvem a síntese e ativação de enzimas, principalmente. Com isso, o objetivo principal deste trabalho foi analisar os possíveis impactos na qualidade do malte que são provocados pelo tempo total de germinação, a etapa mais longa do processo, com cerca de 3 a 4 dias de duração, e que possui elevada importância no processo de malteação.

Como objetivos específicos, foram analisados a presença de extrato, concentração de β -glucanos e o valor de poder diastásico, que mede a atividade das enzimas de maior interesse às cervejarias, todos correlacionados ao tempo

total de germinação. O estudo foi realizado com base nos resultados analíticos obtidos em 120 fabricações de malte de uma maltaria situada no Rio Grande do Sul, Brasil, produzidas ao longo de 2021 a partir de uma única variedade argentina de cevada. Estes resultados foram fornecidos por laboratório próprio da empresa, localizado em outra cidade do Rio Grande do Sul, e avaliados estatisticamente com auxílio do software Minitab®.

2 Revisão Bibliográfica

Para que seja desenvolvido um estudo de caso a respeito da produção de malte de cevada, é necessário o domínio dos diversos parâmetros envolvidos no processo de malteação. Neste capítulo serão descritos, a partir de dados da literatura, a matéria-prima, as etapas operacionais de produção, as alterações físico-químicas sofridas pelos grãos ao longo do processo e as características relevantes no malte produzido. Além disso, é necessário compreender, inicialmente, o processo de produção da cerveja – razão pela qual o malte do presente estudo é produzido, pois consiste em um de seus principais ingredientes.

2.1 A produção da cerveja

Água, malte e lúpulo são os três principais ingredientes para a produção da cerveja. Kunze (2004) atribui a produção da cerveja a três processos bioquímicos: a formação de enzimas durante a germinação da cevada, convertendo-a em malte, a degradação do amido em açúcares por estas enzimas e, por fim, a fermentação destes açúcares em álcool e CO₂ a partir da presença de leveduras. Após a fermentação é realizada a maturação, com redução das temperaturas e desenvolvimento de características sensoriais. Em seguida, é realizada a filtração e, por fim, o envase.

O principal processo da produção de cerveja é a fermentação. Para que ela ocorra, é fundamental que seja realizada, anteriormente, a etapa de mosturação. Nesta etapa será produzido o mosto, que consiste, de modo geral, em uma solução produzida a partir de malte moído, disponibilizando os nutrientes que servirão de substrato às leveduras (Kunze, 2004).

2.2 A cevada

A cevada, gramínea do gênero *Hordeum*, é uma das primeiras espécies de planta a serem cultivadas pelo ser humano. A possibilidade de cultivo em diferentes ambientes, bem como a sua versatilidade para a produção de alimentos e rações animais, contribuíram para que se tornasse uma das quatro plantas mais cultivadas no mundo todo (Verstegen et al, 2014).

Embora seja possível produzir malte a partir de outros cereais, como milho e trigo, a cevada cervejeira é a mais utilizada por diversos fatores, como o elevado

teor de amido, também denominado de extrato fermentável, e elevado teor proteico, atendendo à nutrição das leveduras durante a fermentação. Além disso, a cevada confere à cerveja espuma, sabor, odor e corpo característicos (Aquarone, 2001).

O cultivo da cevada é realizado em climas temperados. A Argentina é a principal produtora na América do Sul, e no Brasil a produção ocorre na região Sul durante o inverno. Uma das principais características da cevada é o posicionamento dos grãos na espiga, que podem estar alinhados em duas ou seis fileiras, como mostrado na Figura 1. A cevada de duas fileiras, a exemplo da encontrada no Brasil, apresenta maior teor de amido e potencial enzimático se comparada à cevada de seis fileiras, proporcionando maior rendimento na produção de cerveja. (Ribeiro, 2018).



Figura 1. Cevada de duas fileiras (a) e cevada de seis fileiras (b).

Fonte: Verstegen et al, 2014.

O grão de cevada pode ser dividido em três partes principais: envoltório, endosperma e região germinativa. As camadas do envoltório protegem o grão e regulam a passagem de água; o endosperma é composto por células estáveis onde encontram-se os grânulos de amido; a região germinativa contém o embrião, de onde surgirão a acrospira e a radícula do grão (Kunze, 2004).

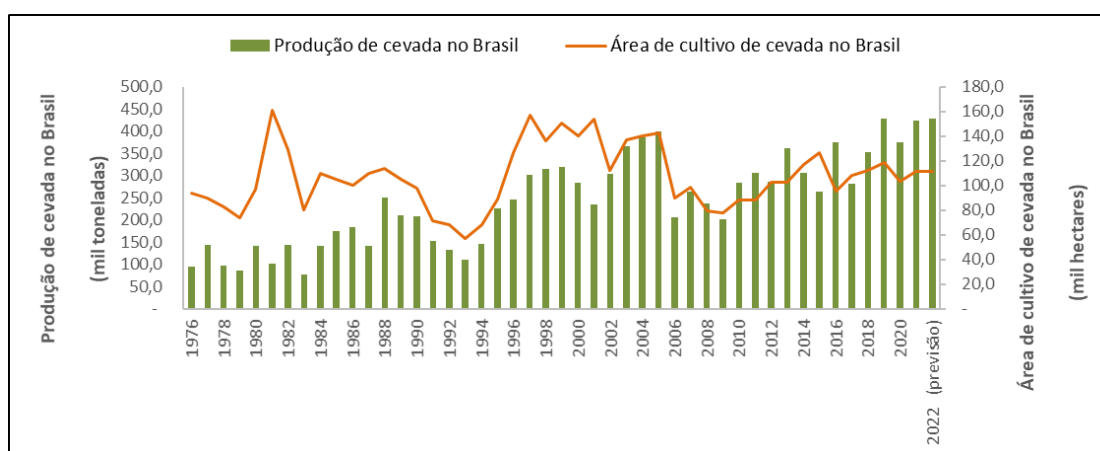
Dentre as características fisiológicas da cevada, são de grande importância a capacidade e energia germinativa, sensibilidade à água e capacidade de absorvê-la. A umidade da cevada pode variar de 12 a 20 %, dependendo das condições de cultivo (Kunze, 2004). A Tabela 1 apresenta a composição média da cevada.

Tabela 1. Composição química média da cevada em massa seca.

Componente	Teor [%]
Carboidratos	70,0 a 85,0
Proteínas	10,5 a 11,5
Matéria inorgânica	2,0 a 4,0
Gordura	1,5 a 2,0
Outras substâncias	1,0 a 2,0

Fonte: Adaptado de Kunze, 2004.

O Brasil, detentor de um dos maiores mercados de cerveja no mundo, tem a produção de cevada majoritariamente voltada para a produção de cevada cervejeira, atendendo a 30% da demanda industrial desta matéria prima (Embrapa, 2021). Segundo dados extraídos da série histórica de safras fornecida pela Conab (2022), apresentados na Figura 2, a previsão da safra de 2022 é de que sejam produzidas 427,5 toneladas de cevada, concentradas nos três estados da região Sul do país.

**Figura 2.** Série histórica da Conab de área de cultivo e produção de cevada no Brasil.

Fonte: Adaptado de Embrapa, 2022.

O malte, utilizado para a produção da cerveja, é obtido a partir da germinação da cevada, enriquecendo o grão em enzimas que irão hidrolisar o amido em componentes essenciais para o processo cervejeiro. O extrato, que consiste em compostos solúveis obtidos na cervejaria pelo processo de mosturação e de suma importância para a fermentação, é o mais relevante parâmetro de qualidade do malte. O processo de malteação é composto, basicamente, em três

etapas subsequentes: maceração, germinação e secagem (Briggs, 1998). A seguir serão apresentados os detalhes das etapas operacionais da malteação.

2.3 Etapas operacionais da malteação

2.3.1 Limpeza, classificação e armazenamento da cevada

Antes de iniciar a malteação, a cevada precisa ser limpa e classificada. A limpeza tem como intuito a remoção de impurezas como sementes estranhas, metais, pedras e, inclusive, pó de cevada – fruto da abrasividade do grão. Esta etapa utiliza uma série de equipamentos, como separadores, aspiradores e ímãs (Kunze, 2004).

A classificação consiste na separação dos grãos de acordo com o tamanho, retirando grãos muito pequenos das etapas seguintes do processo. Os equipamentos de classificação, como as peneiras oscilantes, normalmente utilizam chapas com aberturas que vão de 2,6 a 2,0 milímetros, considerando-se de primeira qualidade grãos que não passam por nenhuma das peneiras e de segunda ou terceira qualidade os que passam pelas seguintes (Schwarz & Li, 2010).

Usualmente, a cevada classificada é armazenada antes de iniciar a primeira etapa da malteação, e silos de concreto são amplamente utilizados. Dentre os fatores atrativos deste tipo de silo estão os seus baixos custos de manutenção e a resistência ao fogo. Calcula-se que, em média, armazena-se 700 kg de cevada por m³ (Kunze, 2004).

Além do controle da temperatura e umidade, é necessário sistema de aeração para garantir que ocorra a respiração e, conseqüentemente, sobrevivência do grão. Também deve ser realizado o controle de pragas, sendo o inseto caruncho o mais comum – que pode ser eliminado através de expurgos com gás fosfina (hidreto de fósforo), por exemplo (Kunze, 2004).

2.3.2 Maceração

A maceração é responsável por iniciar o processo de malteação, tendo como objetivo principal o aumento da umidade do grão de 12 % para valores entre 42 % e 48 %, contribuindo para que se inicie no endosperma o processo de geração enzimática. Esta etapa ocorre normalmente com a alternância entre períodos de imersão em água e de drenagem. Durante os períodos de imersão, denominados de períodos úmidos, é usual a injeção de oxigênio para atender a atividade

metabólica. Quando o tanque é drenado, intervalo denominado de período seco, normalmente é feita a sucção de dióxido de carbono para que não ocorra o sufocamento e morte do grão (Schwarz & Li, 2010).

Além de conferir umidade indispensável à malteação, a água utilizada na maceração é responsável por retirar impurezas aderidas ao grão, bem como palha ou outros resíduos do campo que não tenham sido retirados na limpeza inicial. Durante a primeira etapa úmida, grande parte das sujidades concentram-se na superfície do tanque com auxílio de injeção de água pelo fundo do tanque (*overflow*), possibilitando a retirada através de coletor posicionado em altura adequada. A injeção de ar comprimido no interior do tanque durante as etapas úmidas, além de auxiliar no processo de limpeza e de disponibilidade de oxigênio, também contribui para uma melhor mistura da solução (Mallet, 2014).

Durante a maceração ocorrem perdas de processo que variam de 0,5 a 1,5 %, que são compostas pelas impurezas contidas na cevada e, também, pelos produtos do metabolismo do grão, como a respiração. As perdas por respiração são atribuídas, basicamente, à geração de dióxido de carbono e água, que é acentuada durante as etapas a seco com ventilação. É possível, também, a ocorrência de fermentação, propiciando perdas por geração de etanol (Briggs, 1998).

O processo pode ser conduzido em tanques cônico-cilíndricos, tanques cilíndricos de fundo plano ou, inclusive, uma combinação destes modelos, conforme exemplo da Figura 3. Etapas semelhantes são utilizadas em ambas as estruturas, sendo comum o trabalho com temperatura entre 14 e 16 °C, bem como a utilização de 3 períodos com água que totalizam entre 2,4 e 3,9 m³ por tonelada de cevada. A duração dos períodos de imersão e secos varia de acordo a variedade da cevada e as especificações pretendidas no malte. De modo geral, períodos com água que levam de 4 a 12 horas e secos que levam de 4 a 7 horas são considerados adequados para que ocorra uma boa germinação dos grãos na etapa seguinte (Schwarz & Li, 2010).



Figura 3. Tanques cilíndrico-cônicos de maceração em uma malteria.

Fonte: Mallet, 2014.

A água utilizada na maceração deve ser limpa e analisada, pois tem impacto direto na qualidade do malte. Enquanto águas muito salinas são consideradas inadequadas por impactar negativamente na germinação, considera-se que águas alcalinas e calcárias limitam o desenvolvimento de microrganismos – muitos malteiros, inclusive, diluem na água compostos químicos como o hidróxido de sódio, que confere alcalinidade (Briggs, 1998).

O fungo *Fusarium graminearum* é um exemplo de microrganismo que pode ser combatido na maceração, bem como a sua micotoxina, desoxinivalenol (DON), também conhecida como “vomitoxina” devido à indigestão estomacal provocada em animais que a consumam. Outro possível efeito indesejável da presença de DON é a ocorrência do *gushing*, que consiste na projeção abrupta da cerveja para fora da lata ao ser aberta (Mallet, 2014).

2.3.3 Germinação

Após devida hidratação da cevada na maceração, a etapa seguinte é a germinação, onde ocorrem as principais alterações físico-químicas no grão. É nela que ocorrerão os processos de geração e ativação enzimática, bem como a modificação da estrutura celular. O interior da cevada contém, por natureza, compostos estáveis de elevada massa molar, como os β -glucanos, tipo de fibra indesejada durante a produção da cerveja por dificultar a etapa de filtração, por exemplo. A degradação desses compostos ocorre através de enzimas que são

geradas durante a germinação, em processo que leva de 3 a 4 dias para ser completo (Kunze, 2004).

Normalmente, durante a germinação os grãos são distribuídos de modo que formem um leito com altura próxima de 1,5 metros – muito superior aos cerca de 15 centímetros que eram utilizados nos primórdios da malteação, onde a prática comumente ocorria diretamente no chão (*floor malting*). Esta evolução é fruto do desenvolvimento de tecnologias que permitem maior controle da temperatura e aeração dos grãos, com a germinação ocorrendo normalmente em compartimentos plano retangulares ou plano circulares. A germinação em cilindros rotacionáveis que permitem a mistura dos grãos, a despeito do sucesso no século XVIII, caiu em desuso (Mallet, 2014).

De modo geral, a área onde ocorre a germinação é constituída por um compartimento com piso perfurado, máquinas de revolvimento e equipamentos de ventilação. Um exemplo de compartimento retangular é apresentado na Figura 4. As perfurações do piso permitem a circulação do ar ventilado com umidade e temperatura adequadas, o qual é proveniente de ventiladores posicionados abaixo do compartimento de germinação. As máquinas de revolvimento são responsáveis por separar as radículas em crescimento, manter uniforme as condições germinativas ao longo do leito e, muitas vezes, fornecer quantidades adicionais de água através de dosadores acoplados (Schwarz & Li, 2010).



Figura 4. Compartimento retangular de germinação com máquina de revolvimento.

Fonte: Mallet, 2014.

O início da germinação é caracterizado pelo desenvolvimento de um pequeno ponto branco em uma das extremidades do grão, que se trata do primeiro sinal de crescimento da radícula. Em processos com aeração eficiente durante a

maceração, é possível que os grãos já cheguem à área de germinação com este broto. Com o decorrer do processo germinativo passa a ser fundamental a realização de revolvimentos periódicos, pois o crescimento das radículas pode gerar emaranhados que bloqueiam a passagem de ar e sufocam os grãos das camadas centrais do leito, além de criar estrutura rígida que dificultará o transporte do chamado “malte verde” para a etapa seguinte do processo (Mallet, 2014). Na Figura 5 é possível observar a cevada em estágio avançado de germinação, com as radículas já bem desenvolvidas.



Figura 5. Cevada após 4 dias de germinação.

Fonte: Schwarz & Li, 2010.

As radículas são removidas ao final do processo de malteação, correspondendo em perdas de processo que equivalem a, aproximadamente, 4 % da massa de malte seco – logo, seu crescimento deve ser controlado. Esta perda é amenizada mantendo-se o menor tempo possível na etapa de germinação, bem como as menores temperaturas. Para a produção de malte Pilsen, temperaturas entre 17 e 18 °C são as mais aplicadas (Kunze, 2004).

Pouco expressivas na maceração, as perdas de carboidratos pela respiração dos grãos passam a ter maior relevância durante a etapa de germinação, impactando em redução aproximada de 6 % em massa seca (Mallet, 2014). Em excesso, a respiração pode provocar degradação demasiada do endosperma, impactando no rendimento e na qualidade do malte. As perdas por respiração são reduzidas utilizando-se as menores temperaturas, tempo de germinação e tempo de aeração possíveis. Em média, de 300 a 700 m³ de ar por hora são necessários por tonelada de malte verde, e esta ventilação é fundamental para o controle da

umidade e temperatura. A umidade do grão, ao fim da germinação, deve ser 1 % inferior à atingida ao final da maceração (Kunze, 2004).

A etapa de maceração da cevada é fundamental para a de germinação pois, à medida que o embrião do grão é hidratado, ele passa a liberar hormônios, como a giberelina, que induzirão o escutelo e a camada de aleurona a produzirem as enzimas responsáveis pela quebra do endosperma (Mallet, 2014). Na Figura 6 é possível observar a configuração inicial dos grãos de cevada, ou seja, a forma com que os seus componentes estão organizados antes de iniciar o processo de germinação.

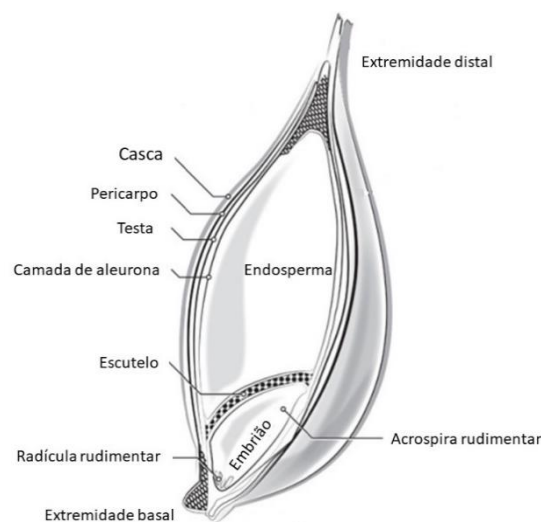


Figura 6. Diagrama de componentes do grão de cevada.

Fonte: Adaptado de Mallet, 2014.

Dentre as enzimas sintetizadas pela camada de aleurona, destacam-se as β -glucanases e a α -amilase. Esta síntese progride conforme os hormônios embrionários se difundem por toda a camada de aleurona, ocorrendo lentamente. A modificação do grão, decorrente da ação enzimática, ocorre da extremidade basal, por onde inicialmente é absorvida a umidade, em direção à extremidade distal, a porção mais distante do embrião. Este processo de degradação do endosperma alterará a consistência do interior do grão, que deixará de ser rígida e passará a ser farinhenta ou pastosa (Mallet, 2014).

Diferentes enzimas são formadas durante a germinação, e comumente as amilases são consideradas as mais importantes. As enzimas α -amilase e β -amilase, presentes no malte, são responsáveis pela degradação do amido durante o processo de mosturação na cervejaria. A formação de ambas é ligada à respiração do grão nos primeiros dias de germinação e, portanto, favorecidas

quando há aeração adequada nesta etapa inicial. A α -amilase, ao contrário da β -amilase, não é naturalmente encontrada na cevada, e tem o seu desenvolvimento acentuado no terceiro e quarto dia de germinação. O acréscimo de β -amilase é produzido, principalmente, entre o segundo e terceiro dia de germinação (Kunze, 2004).

A síntese das enzimas β -glucanases durante a germinação também são de grande importância pois, quando presentes, realizam a degradação dos β -glucanos, o principal componente da parede celular do endosperma – cerca de 75 % de sua composição. A quebra da parede celular do endosperma torna o seu interior vulnerável ao ataque das demais enzimas, permitindo a degradação de proteínas e a conversão do amido em açúcares, por exemplo (Mallet, 2014).

Existem diversos aditivos capazes de serem utilizados na malteação, com propósitos como a redução da dormência (grãos sem germinar), controle de microrganismos, atendimento de especificações de qualidade e aumento da produtividade da malteação. Dentre todos, o ácido giberélico é o mais utilizado, e consiste em um hormônio de ocorrência natural na cevada e produzido industrialmente por meio de culturas do fungo *Fusarium moliniforme*. Outros aditivos que podem ser citados, também, são as enzimas comerciais de origem microbiana, especialmente as celulasas e β -glucanases, cuja utilização é atribuída a geração de mosto com menor viscosidade e maior percentual de extrato – características qualitativas de grande relevância no malte (Briggs, 1998).

2.3.4 Secagem

Após atingido os níveis desejados de geração e ativação enzimática, assim como de alteração da estrutura celular, os grãos são direcionados para a secagem, última etapa do processo de malteação. O principal objetivo da secagem é reduzir bruscamente a umidade, cessando a germinação do grão e conferindo os atributos sensoriais característicos do malte. Tempo, temperatura e umidade são as principais variáveis desta etapa, onde o fluxo de ar também é de extrema importância (Mallet, 2014).

A estrutura da área de secagem é semelhante à encontrada na área de germinação – compartimentos retangulares ou circulares com piso composto por chapas com pequenas perfurações, as quais permitem a circulação forçada de ar com temperatura controlada. Buscando uniformidade nos lotes de produção de malte, os grãos são distribuídos em leitos que possuem alturas menores que as

utilizadas na germinação e, portanto, em compartimentos com maior área (Schwarz & Li, 2010).

Durante a secagem é reduzida a umidade do malte, inicialmente próxima de 40 %, para valores inferiores a 5 %. Essa redução ocorre devido ao contato com correntes de ar aquecido, em um processo que normalmente é composto por duas etapas principais, conhecidas como secagem livre e cura. A secagem livre possui temperaturas que normalmente vão de 40 a 50 °C, removendo a maior parte da umidade do grão. Para a produção de malte Pilsen, por exemplo, a cura atinge temperaturas próximas de 85 °C e é a principal na atribuição de cor, aroma e sabor do malte. Esta divisão da operação de secagem é feita com o intuito de proteger as enzimas do malte, que são importantes na quebra do substrato na cervejaria e podem ser destruídas se expostas de maneira abrupta à altas temperaturas (Kunze, 2004).

Para que seja efetiva a evaporação da água contida no interior do grão, temperatura e umidade relativa do ar são de grande importância. Além disso, os ventiladores localizados sob as estufas devem ser capazes de conduzir elevado volume de ar com pressão suficiente para atravessar todo o leito de grãos. No início da secagem é priorizada a ventilação, e o ar sai das estufas com umidade relativa entre 90 e 95 %. Após o malte verde perder cerca de 60% da sua umidade inicial, atingindo valores próximos de 25 %, é realizada a redução do fluxo de ar, podendo ser aumentada a temperatura para que seja acelerada a taxa de remoção de água e, desse modo, a umidade do grão chegue a valores próximos de 12 % (Briggs, 1998). Esta redução do fornecimento de ar é de cerca de 50 %, sendo o fluxo inicial de 4300 a 5000 m³ de ar por tonelada de malte por hora. Com a redução da umidade cessa o processo de germinação do grão (Kunze, 2004).

Após chegar aos valores próximos de 12 % de umidade, ocorrerá um novo aumento de temperatura na operação de secagem, atingindo entre 80 e 90 °C para maltes de cores claras e, dessa forma, iniciando o processo de cura do malte, que terá umidade final de aproximadamente 5 %. É nesta etapa que ocorrem as principais reações químicas da secagem, como a reação de Maillard, formando compostos como melanoidinas, açúcares caramelizados e polifenóis oxidados – que impactam na cor, sabor e aroma do malte (Schwarz & Li, 2010). Maltes mais escuros e aromáticos são obtidos com temperatura de cura próxima de 110 °C (Mallet, 2014).

O tempo total do processo de secagem pode levar de 16 a 48 horas, dependendo das características pretendidas no malte e, principalmente, da estrutura utilizada. Para maior eficiência energética, a cura do malte pode ser feita com recirculação do fluxo de ar aquecido, pois não terá umidade relativa expressiva após passar pelo leito. Finalizado o processo de secagem, antes de ser armazenado o malte deve ser resfriado a valores próximos da temperatura ambiente, além de passar pelo processo de remoção da radícula – o pequeno broto desenvolvido durante a etapa de germinação (Schwarz & Li, 2010).

2.4 Análises e avaliação das características do malte

As análises do malte são muito importantes, pois a partir delas serão obtidos os resultados de qualidade do malte que guiarão os ajustes nos parâmetros operacionais do processo de malteação. Segundo Briggs (1998) e Kunze (2004), essas análises são amplamente realizadas utilizando-se padrões oficiais de organizações como a IoB (Institute of Brewing), EBC (European Brewery Convention), ASBC (American Society of Brewery Chemists) e MEBAC (Middle European Brewing Analysis Commission).

2.4.1 Classificação

Assim como feito com a cevada, a classificação é feita através do peneiramento e conseqüente separação dos grãos a partir do tamanho. A EBC e a IoB determinam que o método deve ser realizado utilizando-se peneiras com aberturas de 2,8 mm, 2,5 mm e 2,2 mm (Briggs, 1998).

São considerados de primeira qualidade os grãos que passam somente pela primeira peneira, com maiores aberturas, e o valor presente deve ser próximo de 85% da massa da amostra analisada (Kunze, 2004). Grãos maiores são, de modo geral, portadores de maiores quantidades de extrato e menores valores de cor, turbidez do mosto e teor de nitrogênio total. Portanto, a distribuição dos tamanhos depende do tipo de malte produzido (Briggs, 1998).

2.4.2 Peso Hectolitro

O peso hectolitro (kg/hl) consiste na densidade aparente do grão, sendo de interesse para o transporte e espaço para armazenamento. Pode ser medido colocando-se o grão em cilindro com volume específico sob condições

padronizadas, por exemplo (Briggs, 1998). Esta medida possui pouca relevância para o malte, sendo normalmente realizada somente para a cevada (Kunze, 2004).

2.4.3 Vitreosidade e friabilidade

Após passar pelo processo de malteação, os grãos devem ter o endosperma com cor uniforme e consistência farinhenta, ou seja, com elevada friabilidade. A presença de grãos vitrosos ocorre a partir de grãos não modificados ou que passaram por etapa de secagem falha. O aquecimento abrupto à elevadas temperaturas, com o malte verde ainda possuindo alto teor de umidade, pode causar a gelatinização do endosperma que, após esfriar, endurecerá e, dessa forma, causará a vitreosidade do grão (Briggs, 1998).

Uma das formas de medir a vitreosidade é visualmente, cortando longitudinalmente os grãos. O percentual de grãos vitrosos ao final da malteação não deve exceder 2%. A presença de grãos vitrosos ou muito duros são indesejadas no processo cervejeiro, pois prejudicam a mosturação e filtração da cerveja. A friabilidade pode ser medida com a utilização de um friabilômetro, sendo desejados valores próximos ou acima de 80%, normalmente (Kunze, 2004).

2.4.4 Umidade

Assim como para a cevada, a umidade do malte normalmente é obtida através da análise gravimétrica de grãos moídos e secos em um forno sob condições padronizadas (Briggs, 1998).

O limite superior de umidade aceito comercialmente é, usualmente, 5%. Para maltes claros normalmente é especificado entre 3,0% e 3,5% de umidade, enquanto para maltes escuros é desejado entre 1,0% e 4,5% (Kunze, 2004).

2.4.5 Mosto congresso

É de grande importância para os cervejeiros o comportamento do malte na etapa de mosturação. Frente a isso, muitas das principais análises do malte são realizadas a partir do chamado mosto congresso, que consiste em simulação padronizada em escala laboratorial do processo de mosturação que ocorre na cervejaria (Kunze, 2004). Os tópicos a seguir fornecerão mais detalhes destas análises, e pela Figura 7 é possível observar a aparência de mostos congressos produzidos a partir de diferentes maltes.

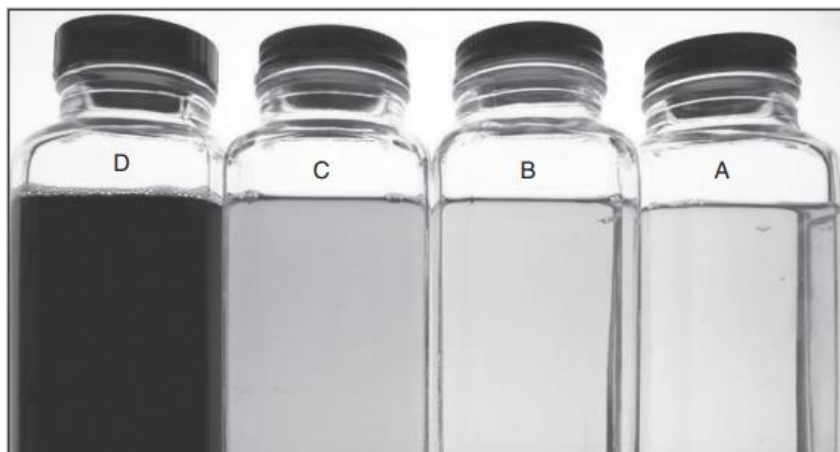


Figura 7. Mosto congresso produzido a partir de maltes com diferentes colorações.

Fonte: Adaptado de Schwarz & Li, 2010.

2.4.5.1 *Extrato*

A principal análise do mosto congresso é o extrato, que consiste nos materiais dissolvidos em solução de água com malte moído e triturado – preparado sob temperaturas elevadas e tempo controlado. O extrato é composto de 90 % a 92 % por carboidratos, os quais são acompanhados por outras substâncias como aminoácidos, peptídeos, minerais, polifenóis, vitaminas, entre outros. O extrato possui os nutrientes necessários para que as leveduras executem a fermentação, na qual há a conversão de álcool e dióxido de carbono (Briggs, 1998).

Quanto maior a presença de extrato, maior a qualidade do malte, pois mais nutrientes serão de fácil acesso às leveduras. Boa presença de extrato está relacionada com boa modificação dos grãos ao longo da malteação. Para maltes claros, normalmente encontra-se valores entre 79 e 82 % em base seca, enquanto para maltes escuros a faixa vai de 75 a 78 % (Kunze, 2004).

Usualmente o extrato é medido de duas formas, baseados no tamanho dos grânulos após o moimento, denominadas de moagem fina e moagem grossa. Um indicativo de boa modificação do malte é que se obtenha diferença no percentual de extrato inferior a 1,8 % – evidenciando que a sua dissolução pouco depende do quão fino o malte é moído (Kunze, 2004).

2.4.5.2 *Cor de mosto*

A cor do mosto não permite tirar conclusões a respeito da cor da cerveja, mas sua medida indica o tipo de malte utilizado no preparo do mosto congresso. A unidade de medida amplamente utilizada é o EBC, obtida a partir de “comparadores de cores” com discos coloridos de forma padronizada. Para maltes claros

normalmente são obtidos valores de até 4 EBC, com maltes de média coloração de 5 a 8 EBC e com maltes escuros de 9,5 a 20 EBC (Kunze, 2004).

2.4.5.3 *Cor de cocção*

A cor de cocção é determinada após a fervura do mosto congresso, e este procedimento permite que sejam feitas conclusões a respeito do escurecimento do mosto após passar pela etapa de fervura na cervejaria. Portanto, o valor atingido de cor de cocção será mais próximo da coloração que a cerveja de fato atingirá ao final do processo cervejeiro (Briggs, 1998).

Antes de ser analisada a cor de cocção, o mosto congresso é fervido por duas horas utilizando-se um condensador de refluxo e clarificado com um filtro de membrana. A determinação da cor de cocção é feita da mesma maneira que para a cor de mosto, com maltes claros atingindo valores próximos de 5,1 EBC e possuindo limite superior de 7 EBC (Kunze, 2004).

2.4.5.4 *Nitrogênio solúvel*

O teor de nitrogênio solúvel é de grande interesse no mosto congresso devido aos variados impactos proporcionados à cerveja. A quantidade percentual em massa seca de nitrogênio solúvel atinge, normalmente, entre 0,55 e 0,75 % (Kunze, 2004).

Embora existam correlações inversas entre o percentual de nitrogênio solúvel e o rendimento do extrato na produção da cerveja, a parcela de proteína que não precipitar durante a fervura contribui com a estabilidade da espuma da cerveja, por exemplo, além de impactar no corpo (Briggs, 1998).

2.4.5.5 *Índice de Kolbach*

O índice de Kolbach possui correlação direta com o teor de nitrogênio solúvel, pois trata-se do percentual do total de nitrogênio que solubilizou com a preparação do mosto. Seu valor demonstra o quanto o malte sofreu modificação proteolítica, com valores acima de 41% evidenciando demasiada modificação, entre 35 % e 41 % para modificação satisfatória e abaixo de 35% com pouca modificação (Kunze, 2004).

2.4.5.6 *Análise de Nitrogênio Livre (Free Amino Nitrogen, FAN)*

O FAN consiste nos compostos nitrogenados solúveis que possuem baixa massa molar, sendo constituído por íons amônio e aminoácidos. Estes compostos auxiliam o crescimento das leveduras através do fornecimento de nitrogênio, sendo fundamentais para a etapa de fermentação no processo cervejeiro (Briggs, 1998).

Valores muito baixos de FAN são indesejados à cervejaria, pois implicam em fermentação insuficiente devido à falta de nutrientes que são necessários à reprodução das leveduras. Os valores de FAN normalmente encontram-se na faixa entre 120 e 160 miligramas por 100 gramas de massa seca de malte (Kunze, 2004).

2.4.5.7 *Poder Diastásico*

O poder diastásico pode ser definido como a capacidade do malte em quebrar o amido em açúcares, processo que ocorre graças a ação das enzimas α -amilase e β -amilase e é fundamental durante a mosturação. Desse modo, monitorar a atividade destas enzimas é importante para o controle de qualidade do malte. Este parâmetro, expresso na unidade Windisch-Kolbach (WK), normalmente atinge valores entre 240 e 260 WK em maltes claros e de 150 a 170 WK em maltes escuros (Kunze, 2004).

2.4.5.8 *β -glucanos*

Os β -glucanos são fibras presentes no endosperma da cevada. Sua presença é medida pois, caso estejam em grandes quantidades, indicam que a modificação do malte foi insuficiente, ou seja, houve baixa degradação do endosperma. Além disso, estes compostos formam soluções com elevada viscosidade, dificultando a separação do mosto ao fim da mosturação e, também, prejudicando a filtração da cerveja. Normalmente são encontrados entre 0,2 e 1 % em massa de malte (Briggs, 1998).

3 Materiais e Métodos

O estudo de caso deste trabalho foi desenvolvido a partir dos dados de processo da produção de malte Pilsen, tipo de malte claro, proveniente de uma maltaria situada no Rio Grande do Sul. Desse modo, os parâmetros operacionais das etapas de malteação executadas neste local estão diretamente conectadas com a metodologia aplicada.

3.1 Dados de estudo

Nesse trabalho serão discutidos os impactos do tempo de germinação em características qualitativas de 120 fabricações de malte do tipo Pilsen, produzidas ao longo de 2021 a partir de uma mesma variedade argentina de cevada de duas fileiras. Os parâmetros operacionais de malteação mantiveram-se relativamente uniformes, sendo o tempo total de germinação a principal variável, oscilando entre 70 e 90 horas, aproximadamente. Os resultados das análises qualitativas do malte foram fornecidos por laboratório próprio da empresa, o qual também é localizado no Rio Grande do Sul. Cada análise foi realizada em simplicata, totalizando 120 amostras de dados laboratoriais.

A partir dos dados coletados foi possível avaliar a variação de parâmetros de qualidade de acordo com o tempo de germinação executado. Os parâmetros analisados no malte, cujos resultados serão discutidos no presente trabalho, foram o extrato, a concentração de β -glucanos e o poder diastásico – todos com grande relevância para o processo de produção de cerveja. A Tabela 2 apresenta as características analisadas no malte produzido, bem como as especificações estipuladas pela empresa.

Tabela 2. Especificações de qualidade da maltaria estudada.

Característica	Especificação
Extrato [%]	> 80,0
β-glucanos [ppm]	< 180,0
Poder diastásico [WC]	Entre 250 e 360
Cor de cocção [EBC]	Entre 5,0 e 6,8
FAN [mg/L]	Entre 165 e 190
Friabilidade [%]	> 80
Umidade [%]	< 5,5
Cor de mosto [EBC]	Entre 2,8 e 4,5
Proteína total [%DM]	Entre 9,7 e 12,5
Índice de Kolbach [%]	Entre 40 e 46
Grãos de 1ª qualidade [%]	> 90
Grãos não modificados [%]	< 4%
Grãos vitrosos [%]	< 2,0
Grãos quebrados [%]	< 0,8
Resíduo total [%]	< 2,0

Fonte: Autor.

3.2 Descrição do processo

A primeira etapa operacional da maltaria é o recebimento de cevada, entregue por caminhões. A carga é descarregada na moega da unidade, evidenciada na Figura 8, sobre a qual existem grades para a segregação de sólidos grosseiros, como pedras que porventura tenham acompanhado a carga de cevada. Abaixo da moega está localizado um transportador de correntes do tipo Redler, primeiro equipamento da cadeia de transporte até os silos de armazenamento, ao longo da qual há a aspiração de pó de cevada, palha e outros materiais leves. A maltaria possui 42 silos de armazenamento, feitos de concreto, totalizando capacidade próxima de 25 mil toneladas de cevada.

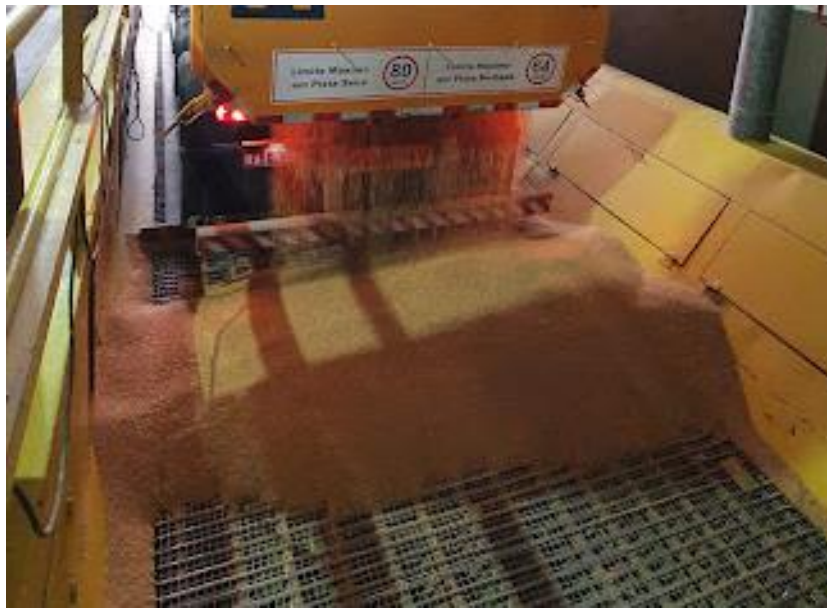


Figura 8. Caminhão descarregando cevada sobre a moega.

Fonte: Autor.

A próxima etapa é a classificação, que consiste na limpeza e segregação do grão a partir do seu tamanho. Esse processo é realizado a partir da utilização de peneira oscilante, a qual é constituída por quadros com aberturas de diferentes tamanhos – visando a retirada de impurezas de menor ou maior tamanho que o grão de cevada. Esse processo também é feito sob aspiração, realizada por tarara acoplada à peneira.

Os grãos classificados são segregados em bateladas com, aproximadamente, 215 toneladas. Existem 6 silos de classificação na maltaria, também feitos em concreto, totalizando capacidade próxima de 5 mil toneladas de cevada. Após armazenados, os grãos são direcionados para a primeira etapa da malteação, a maceração.

Na maceração ocorre a distribuição de cada batelada em quatro tanques em formato de funil, os denominados “funis de maceração”, cuja vista superior pode ser visualizada na Figura 9. A etapa ocorre com alternância entre períodos de submersão dos grãos em água, chamados de período úmido, e de drenagem da água, chamados de períodos secos. O objetivo principal da maceração é abastecer de água o interior do grão, elevando a umidade da cevada de cerca de 12 % para valores próximos de 42 %, contribuindo para que ocorra a germinação.



Figura 9. Funil de maceração durante período seco.

Fonte: Autor.

Durante os períodos úmidos da maceração não há o controle da temperatura da água, oscilando de acordo com a temperatura ambiente. Cada funil recebe cerca de 54 toneladas de cevada, que serão submersas em 50 m³ de água. A fim de propiciar maior limpeza e uniformidade na mistura, no primeiro período com água é realizado o chamado *Overflow*, que consiste na injeção de água a vazão constante através de tubulações que circundam o interior do funil em pontos profundos. Este processo provoca grande acúmulo de matéria orgânica sobrenadante, a qual é retirada por meio de tubulação localizada próxima da superfície, na porção superior do funil.

O processo de maceração é dividido, normalmente, em três períodos. O primeiro período, com cerca de 3 horas de duração, ocorre com imersão dos grãos em água acompanhada de injeção de ar comprimido. O segundo período inicia após a drenagem da água, durando cerca de 5 horas e com sucção de CO₂ para evitar o sufocamento do grão. O terceiro e último ocorre com a adição de água, necessária para o transporte dos grãos ao local onde ocorrerá a próxima etapa, a germinação. A umidade com a qual o grão inicia a próxima etapa é denominada “grau de maceração”, e o seu valor deve ser próximo de 40 %.

A germinação ocorre nas chamadas caixas de germinação, que possuem formato retangular e piso composto por chapas perfuradas que permitem a circulação forçada de ar. Na Figura 10 é possível visualizar duas caixas de germinação da maltaria de estudo, com a etapa de germinação em andamento. A

batelada, que inicialmente era dividida nos quatro funis de maceração, é distribuída em uma única caixa. A maltaria de estudo conta com seis caixas de germinação, cada uma com cerca de 220 toneladas de capacidade e nas quais os grãos são distribuídos em leitos com cerca de dois metros de altura. Cada caixa possui um ventilador no andar inferior, responsável por circular ar resfriado por trocador de calor cujo fluido de arrefecimento é etanol, mantendo-se o leito na temperatura adequada à germinação.



Figura 10. Caixas de germinação durante a etapa de germinação.

Fonte: Autor.

A etapa de germinação pode durar, normalmente, de 70 a 90 horas, constituindo-se na etapa mais longa do processo de malteação. O processo ocorre sob temperatura e ventilação controlados. Para a amostragem analisada neste estudo, as primeiras 24 horas do processo ocorreram a 22 °C e com a capacidade máxima de ventilação, na qual os ventiladores operam a 50 Hz. No período restante da germinação, a temperatura fica próxima de 16 °C e com ventilação reduzida a cerca de 50 % de sua capacidade.

Durante a germinação as caixas são periodicamente percorridas por máquinas revolventes helicoidais que, além de propiciarem a uniformidade do leito e separação das radículas, possuem na parte superior uma tubulação que permite, quando desejado, a adição de água e aditivos durante o revolvimento. Esta injeção de água ocorre, comumente, 20 horas após o início da etapa de germinação. O volume de água distribuído é de 30 m³, aproximadamente. Nas fabricações

analisadas neste estudo foram dosados, ao longo de toda a caixa, 0,8 ppm de ácido giberélico e 12,5 L de enzima β -glucanase – distribuídos uniformemente pelo leito.

Após finalizada a germinação, os grãos, agora chamados de malte verde, são transportados à etapa seguinte, a secagem. A área de secagem é composta por duas estufas retangulares com mesma dimensão, que somadas comportam o malte verde de apenas uma caixa de germinação – ou seja, uma fabricação. Visto que a capacidade em toneladas da área de secagem é seis vezes inferior à da área de germinação, o tempo total de germinação é diretamente afetado pelo bom andamento da secagem do malte.

A estrutura da área de secagem é semelhante à da área de germinação, possuindo piso composto por chapas com pequenas aberturas que permitem a circulação do ar proveniente do andar inferior, com a principal diferença sendo as temperaturas atingidas durante o processo. Abaixo de cada estufa há 2 ventiladores, responsáveis por circular ar aquecido por trocador de calor, cujo fluido de aquecimento é água, mantendo-se o leito nas temperaturas adequadas às respectivas etapas de secagem. Na Figura 11 é possível visualizar a porção superior de uma das estufas da maltaria de estudo.



Figura 11. Estufa de secagem durante o carregamento.

Fonte: Autor.

A secagem do malte do tipo Pilsen dura, em média, 12 horas, sendo dividida basicamente em 3 etapas. Na primeira, com cerca de uma hora de duração, trabalha-se com alta vazão de ar e temperaturas mais baixas, entre 55 e 60 °C. Na

segunda etapa, com cerca de 8 horas de duração, as estufas atingem temperatura próxima de 73 °C. A secagem é encerrada pela cura, a terceira etapa, onde ocorre a recirculação de ar aquecido, durando aproximadamente 1 hora e com temperatura próxima de 80 °C.

Após a secagem, objetivando que não ocorra o acúmulo de umidade no interior dos silos de armazenamento, é realizada a redução da temperatura do malte. Este resfriamento, com cerca de 20 minutos de duração, é realizado dentro da estufa, sob forte ventilação de ar com temperatura próxima à ambiente. Por fim, é feito o basculamento do piso das estufas, direcionando o malte às roscas degerminadoras responsáveis pelo desbrotamento – a retirada das radículas, facilmente removidas quando secas. Estando devidamente seco e desbrotado o malte é, então, direcionado a silos de concreto para o armazenamento.

3.3 Análise do malte

As amostras de malte, analisadas conforme o padrão EBC (1998), foram obtidas a partir de um ponto fixo de coleta automatizada, o qual localiza-se em um dos equipamentos responsáveis pelo direcionamento do malte das estufas para os silos de armazenamento. As estufas levam aproximadamente 10 horas para que todo o malte seja retirado, e o ponto de coleta é composto por sistema pneumático com acionamento a cada 15 minutos – realizando cerca de 40 coletas em cada fabricação, as quais serão homogêneas para realização de uma única amostragem de análise laboratorial.

A amostra é enviada para laboratório externo para análise físico-química dos parâmetros de qualidade, devendo atender as especificações de qualidade determinadas pela maltaria de estudo, descritas na Tabela 2. Por questões de sigilo industrial, poucos detalhes dos métodos de análise foram fornecidos pela empresa detentora da maltaria de estudo, os quais serão elucidados a seguir.

O teor de extrato do malte é obtido a partir da variação da densidade relativa após a preparação do mosto, solução preparada com malte moído e que passará previamente por filtração. A medição, realizada a 20 °C, é feita a partir da utilização de densímetro digital. Com isto, é possível determinar o percentual em massa de extrato no malte, ou seja, o percentual do malte que se tornou solúvel em água após o seu moimento.

A concentração de β -glucanos é determinada a partir do método enzimático, baseando-se na sua reação de precipitação com presença de sulfato de amônio,

reagindo posteriormente com as enzimas lichenase e β -glucosidase, adicionadas à solução. A concentração de β -glucanos é obtida, por fim, a partir da utilização de espectrofotômetro.

O poder diastásico é determinado, basicamente, a partir da quantidade de maltose formada a partir de 100 g de malte em condições pré-estabelecidas. Para isto é realizada, com água a 40 °C, a extração das enzimas do malte, responsáveis por hidrolisar o amido presente em solução padronizada. O poder diastásico também será determinado por meio de espectrofotômetro.

3.4 Análise estatística

A análise da correlação do tempo de germinação com os parâmetros de qualidade foi realizada por meio da utilização do software Minitab®. Os dados foram tratados através de gráficos de dispersão gerados a partir deste software. Os dados foram avaliados a nível de 95 % de significância ($p < 0,05$).

4 Estudo de Caso

A seguir, serão apresentadas as análises de correlações estatísticas entre o tempo de germinação e alguns dos principais parâmetros de qualidade do malte para o processo de produção de cerveja. Foram analisadas a variação do teor de extrato, da concentração de β -glucanos e do poder diastásico.

4.1 Variação do extrato

O extrato é considerado por muitos cervejeiros o mais importante parâmetro de qualidade do malte, sendo comumente analisado e desejável que esteja presente em grandes quantidades. Briggs (1998) define o extrato, de modo geral, como todos os compostos solúveis obtidos a partir do moimento do malte. Estes compostos servirão para a nutrição e conseqüente desenvolvimento das leveduras, sendo fundamentais para que a fermentação transcorra adequadamente. O extrato é constituído, majoritariamente, por carboidratos – que ocupam cerca de 90% da sua composição.

Os dados obtidos de extrato em função do tempo de germinação foram submetidos à análise estatística, através de gráficos de dispersão, mostrados na Figura 12. A análise da variância do extrato do malte com o tempo total de germinação foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$). A correlação obtida foi negativa, ou seja, observou-se a tendência de os maiores valores de extrato serem obtidos em fabricações produzidas com tempos totais de germinação menores. Este fato chamou atenção, visto que é o processo de germinação o responsável pela geração de extrato no malte.

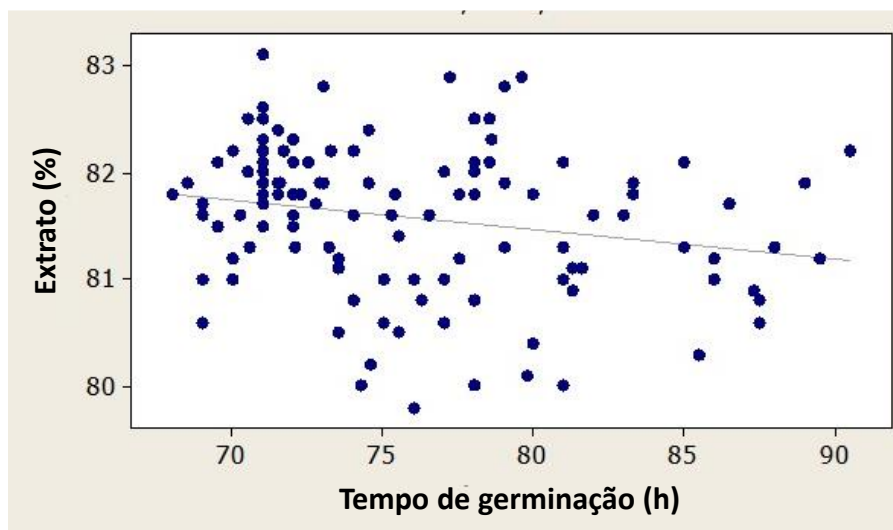


Figura 12. Gráfico de dispersão da presença de extrato em função do tempo total de germinação.

Fonte: Autor.

No trabalho de Yousif & Evans (2020) foram avaliadas, em duas maltarias, as alterações em parâmetros de qualidade da cevada com o decorrer de todo o processo de malteação – sendo o percentual de extrato um dos parâmetros analisados. Os lotes analisados foram produzidos a partir de duas variedades australianas de cevada. As coletas para a análise foram realizadas com intervalos de 12 horas, sendo de aproximadamente 84 horas o máximo tempo de germinação avaliado.

Os autores detectaram, nas amostras analisadas, a ocorrência de grande aumento da presença de extrato no decorrer das primeiras 48 horas de germinação, atingindo valor próximo ao máximo com 72 horas e mantendo-se estável até o fim da etapa. Este fato difere-se, em parte, dos resultados obtidos no presente trabalho, pois constatou-se a tendência de menores valores de extrato após 70 horas de germinação. Este valor é próximo do menor tempo total de germinação avaliado no estudo de caso. Contudo, é válido ressaltar que a dispersão dos valores encontrados foi relativamente baixa, com amplitude máxima próxima de 3 %.

A correlação negativa entre o extrato do malte e o tempo de germinação pode ser relacionada com o fato de terem sido avaliados neste estudo somente os tempos totais de germinação, que sempre foram próximos ou superiores a 70 horas nas fabricações analisadas. Schwarz & Li (2010) apontam que, embora a etapa de germinação proporcione a modificação do malte e, inicialmente, o aumento da disponibilidade de extrato, os maltes demasiadamente modificados podem ter seus carboidratos, como a glucose, consumidos pela respiração do grão. Visto que o

extrato é majoritariamente composto por carboidratos, esse consumo dos açúcares pela respiração justifica a redução da presença de extrato com tempos de germinação demasiadamente longos, como 90 horas.

4.2 Variação da presença de β -glucanos

Segundo Briggs (1998), a parede celular do endosperma da cevada é composta majoritariamente por polissacarídeos denominados β -glucanos, cuja presença pode variar de acordo com a variedade de cevada utilizada. Maltes com elevado teor de β -glucanos evidenciam que o processo de modificação do grão foi insuficiente, e caracterizam-se pela formação de soluções com elevada viscosidade – prejudicando a separação do mosto ao fim do processo de mosturação e, também, a etapa de filtração da cerveja.

A análise da variância da concentração de β -glucanos com o tempo total de germinação foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$). A correlação obtida é negativa, ou seja, os menores valores de β -glucanos (ppm) foram obtidos com os maiores tempos de germinação (h), conforme evidenciado pela Figura 13. A baixa presença de β -glucanos na faixa analisada era esperada, pois esta é oriunda do bom controle do processo de malteação.

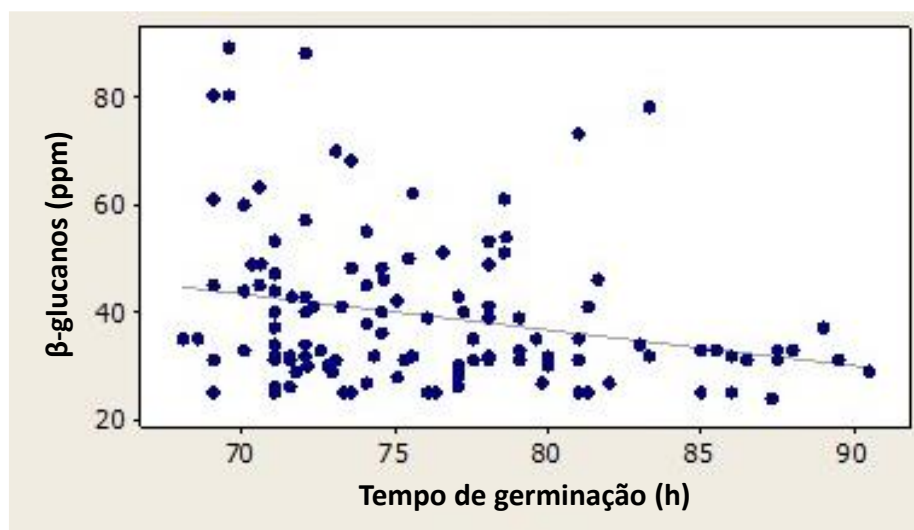


Figura 13. Gráfico de dispersão da concentração de β -glucanos em função do tempo total de germinação.

Fonte: Autor.

Yousif & Evans (2020), Farzaneh et al (2017) e Qin et al (2021) avaliaram, em seus estudos científicos, as alterações nos parâmetros de qualidade de malte produzido com diferentes tempos de germinação. Foram avaliadas, em seus

trabalhos, o comportamento de variedades de cevada australianas, iranianas e chinesas, respectivamente. Dentre os parâmetros analisados está a concentração de β -glucanos.

A correlação encontrada no presente trabalho está em concordância com as obtidas nos trabalhos anteriormente citados. Em todos os estudos foi constatada a redução da presença de β -glucanos com o decorrer da etapa de germinação. A redução foi atribuída pelos autores à atividade da enzima β -glucanase durante a germinação dos grãos.

Segundo Briggs (1998), com o decorrer da germinação, ocorrerá a síntese da enzima β -glucanase, responsável pela degradação de β -glucanos. Visto que a síntese da enzima cessará somente após o início da etapa de secagem, devido à redução da umidade e imposição de elevadas temperaturas, justifica-se a maior presença e atividade de β -glucanase nos maltes que foram produzidos com etapa de germinação mais longa.

A ação das β -glucanases é mais bem detalhada por Mallet (2014). Neste, o autor relata que as enzimas, produzidas durante a germinação pela aleurona do grão ao ser estimulada por hormônios sintetizados pelo embrião, atacam as ligações β -1,3 e β -1,4 dos β -glucanos. As cadeias de β -glucanos são hidrolisadas em oligossacarídeos que, porventura, serão degradados em glicose por outras enzimas. A Figura 14 mostra em detalhes a composição química dos β -glucanos, bem como as ligações sobre as quais as β -glucanases agirão.

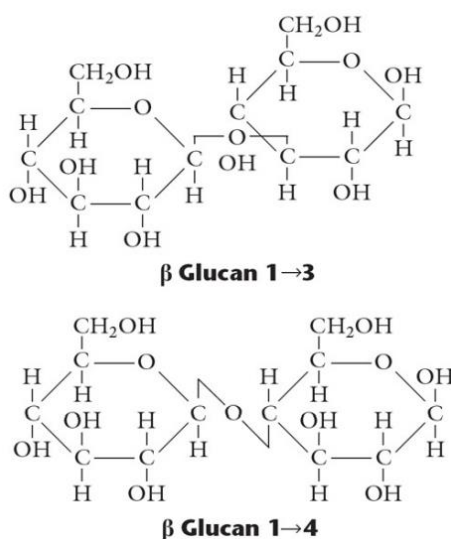


Figura 14. Diagramas de Haworth das ligações β -1,3 e β -1,4 das cadeias de β -glucanos.

Fonte: Mallet, 2014.

4.3 Variação do poder diastásico

O objetivo principal da malteação é a produção de enzimas, as quais são essenciais para a quebra das moléculas de elevado peso molecular que estão localizadas no interior do endosperma do grão. De acordo com Kunze (2004), a determinação do poder diastásico é uma das formas de dimensionar a atividade das principais enzimas do malte, as amilases, responsáveis pela quebra do amido em açúcares fermentáveis, como glucose e maltose, que são essenciais na produção da cerveja.

A análise da variância do poder diastásico com o tempo total de germinação foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$). A correlação obtida é positiva, ou seja, observou-se a tendência de os maiores valores de poder diastásico (WK) serem obtidos com os maiores tempos de germinação (h), conforme evidenciado pela Figura 15.

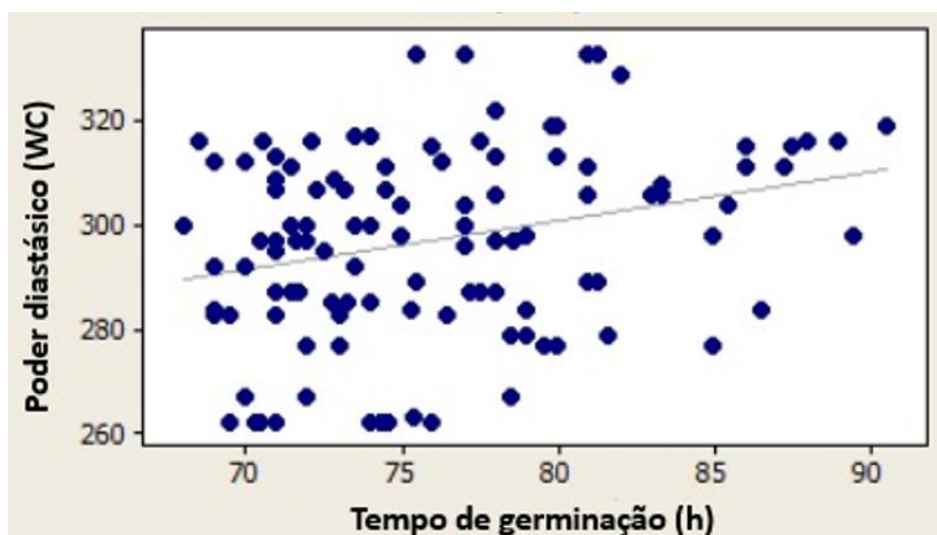


Figura 15. Gráfico de dispersão do poder diastásico em função do tempo total de germinação.

Fonte: Autor.

Dentre os parâmetros físico-químicos de qualidade analisados por Farzaneh et al (2017) e Yousif & Evans (2020), cujos trabalhos foram citados no tópico anterior, também foi analisada a variação do poder diastásico de amostras coletadas com o decorrer da malteação. Qin et al (2021) avaliou separadamente, em suas amostras, a atividade enzimática da α -amilase e da β -amilase, cujos valores são diretamente proporcionais ao poder diastásico.

A correlação encontrada, no presente trabalho, entre o poder diastásico do malte e o tempo total de germinação, está em concordância com os autores. Em todos os estudos foram obtidos os maiores valores de poder diastásico nos maltes

analisados após executados os maiores tempos de germinação. Farzaneh et al (2017) afirma que o aumento do poder diastásico pode ser relacionado com a maior presença da enzima α -amilase após períodos mais extensos de germinação, fato corroborado por Yousif & Evans (2020) e Qin et al (2021) - cujas amostragens evidenciaram que a α -amilase foi a enzima que atingiu maior aumento percentual ao longo da germinação.

Segundo Kunze (2004), a produção de α -amilase é favorecida pela aeração adequada nas fases iniciais da germinação, ocorrendo paralelamente à respiração. Ele cita que quando há a necessidade de maltes ricos em enzimas, longos períodos de germinação devem ser aplicados, pois propiciam elevada produção de α -amilase. Contudo, devem ser levadas em consideração as perdas de processo decorrentes da maior geração de radículas. Mallet (2014) cita que a síntese da α -amilase ocorre a partir do estímulo da aleurona pelos hormônios liberados pelo embrião, progredindo lentamente conforme estes hormônios se difundem pelo grão.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

A etapa de germinação é fundamental para a produção de malte, pois é nela que ocorrerão as principais alterações físico-químicas do grão. A cevada, caracterizada por sua rigidez, tem sua consistência interna alterada para “farinhenta” graças aos processos de síntese e ativação enzimática, bem como de alteração celular, que ocorrem durante a germinação do grão – disponibilizando compostos fundamentais para a produção da cerveja, da qual o Brasil é detentor de um dos maiores mercados do mundo. Maltes caracterizados por elevado teor de extrato e alta atividade enzimática são essenciais para as cervejarias.

A germinação é a mais longa etapa da malteação, levando de 3 a 4 dias para que seja concluída, impactando diretamente na produtividade de uma maltaria. Desse modo, para que seja possível a otimização desta etapa, é necessária uma avaliação prévia dos possíveis impactos que a qualidade do malte poderá ter em decorrência da alteração na duração da germinação.

Os resultados obtidos demonstraram que, para os maiores tempos totais de germinação na faixa avaliada, há uma tendência ($p < 0,05$) de menor teor de extrato, menor concentração de β -glucanos e maiores valores de poder diastásico. Enquanto a redução do teor de extrato é vista como negativa, principalmente por consistirem nos compostos solúveis que servirão para a nutrição das leveduras na cervejaria, a redução da concentração de β -glucanos e o aumento do poder diastásico são vistos como positivos. Baixas concentrações de β -glucanos indicam que houve boa modificação do malte, propiciando mosto com baixa, e adequada, viscosidade. Elevados valores de poder diastásico indicam boa atividade das principais enzimas do malte, as amilases, responsáveis pela quebra do amido em açúcares fermentáveis – essenciais à produção de cerveja. Visto que em toda faixa de tempo analisada foram atendidas as especificações de qualidade, para a variedade estudada recomenda-se, por questões de produtividade, os menores tempos de germinação, os quais situaram-se entre 70 e 80 horas.

Como trabalhos futuros, sugere-se a análise dos parâmetros de qualidade do malte ao longo de todo o processo de produção, visto que grande parte das análises é realizada somente após o fim da malteação. Dessa forma seria possível acompanhar as alterações físico-químicas sofridas pelo grão em cada uma das etapas, proporcionando visão mais ampla dos impactos dos parâmetros

operacionais – e facilitando possíveis tomadas de decisão. Por questões logísticas, a construção de um laboratório no mesmo local do processo produtivo seria um facilitador da realização de maior número de análises dos parâmetros de qualidade.

Referências

AQUARONE, Eugênio. **Biotecnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Editora Blucher, 2001. Disponível em: < <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215202/> >. Acesso em: 26 fev. 2022.

BRIGGS, D. E. **Malts and Malting**. 1. ed. Weinheim: Blackie Academic & Professional, 1998. v. Único.

CENÁRIO FAVORÁVEL PARA A CEVADA. **EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62654017/cenario-favoravel-para-a-cevada> >. Acesso em: 26 fev. 2022.

EBC, **European Brewery Convention**. 1998. Analytica - EBC.

FARZANEH, V. et al. The impact of germination time on the some selected parameters through malting process. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 94, p. 663–668, 1 jan. 2017.

KUMLEHN, J.; STEIN, N. **Biotechnological Approaches to Barley Improvement**. 1. ed. Berlin: Springer, 2014. v. 69

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 3. ed. Berlin: VLB Berlin, 2004. v. Único.
MALLET, J. **Malt: a practical guide from field to brewhouse**. 1. ed. Boulder: Kristi Switzer, 2014. v. 1.

QIN, Q. et al. Comparative proteomic analysis of different barley cultivars during seed germination. **Journal of Cereal Science**, v. 102, 1 nov. 2021.

RIBEIRO, Bernardo. **Microbiologia Industrial - Alimentos - Volume 2**. Barueri: Grupo GEN, 2018. Disponível em: < <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152151/> >. Acesso em: 26 fev. 2022.

SCHWARZ, P.; LI, Y. **Barley: production, improvement, and uses**. In: ULLRICH, S. E. (Ed.). 1. ed. Nova Jersey: Wiley-Blackwell, 2011. v. Único, p. 478–521.

SÉRIE HISTÓRICA DAS SAFRAS. **CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento**, 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/serie-historica-das-safra?start=10> >. Acesso em: 26 fev. 2022.

YOUSIF, A. M.; EVANS, D. E. Changes in malt quality during production in two commercial malt houses. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 126, n. 3, p. 233–252, 2020.