

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**KÁREN MACIEL PIRES**

**EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO RESÍDUO CERVEJEIRO BAGAÇO DE MALTE**

**Bagé**

**2025**

**KÁREN MACIEL PIRES**

**EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO RESÍDUO CERVEJEIRO BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Catarina Motta de Moura

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Caroline Costa Moraes

**Bagé**

**2025**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P667e Pires, Káren Maciel

Extração e quantificação de compostos fenólicos e atividade antioxidante do resíduo cervejeiro bagaço de malte / Káren Maciel Pires.

44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--  
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA DE  
ALIMENTOS, 2025.

"Orientação: Catarina Motta; Caroline Costa De Moura; Moraes".

1. Aproveitamento de resíduo. 2. DPPH. 3.  
Extração sólido-líquido. 4. Maceração. I. Título.

**KÁREN MACIEL PIRES**

**EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO RESÍDUO CERVEJEIRO BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao  
Curso de Engenharia de Alimentos da  
Universidade Federal do Pampa, como requisito  
parcial para obtenção do Título de Bacharela em  
Engenharia de Alimentos.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 15 de dezembro de 2025.

Banca examinadora:

---

Profa. Dra. Catarina Motta de Moura  
Orientador  
UNIPAMPA

---

Profa. Dra. Caroline Costa Moraes  
Coorientador  
UNIPAMPA

---

Prof. Dra. Andressa Carolina Jacques  
UNIPAMPA

---

Prof. Dra. Miriane Lucas Azevedo  
UNIPAMPA



---

Assinado eletronicamente por **MIRIANE LUCAS AZEVEDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2025, às 15:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



---

Assinado eletronicamente por **CATARINA MOTTA DE MOURA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2025, às 16:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



---

Assinado eletronicamente por **CAROLINE COSTA MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2025, às 17:19, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



---

Assinado eletronicamente por **ANDRESSA CAROLINA JACQUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2025, às 21:44, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



---

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1931882** e o código CRC **11795E14**.

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo ao longo de toda a trajetória acadêmica. Sem o amor, a paciência e a confiança de cada um, esta etapa não teria sido possível.

À minha orientadora, Catarina Motta de Moura, expresse minha sincera gratidão pela dedicação e paciência, pelas orientações precisas e pela confiança depositada em meu trabalho. Sua disponibilidade e conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço também à minha coorientadora, Caroline Costa Moraes, pelo acompanhamento atento, pelas contribuições valiosas e pelo apoio constante durante a realização deste estudo.

À minha colega e amiga Isabele de Reis Siqueira, agradeço pela parceria, incentivo e auxílio nos momentos mais desafiadores. Sua colaboração tornou o percurso mais leve e enriquecedor.

Estendo meus agradecimentos aos professores e técnicos dos laboratórios da Universidade Federal do Pampa, que contribuíram direta ou indiretamente para a execução das etapas experimentais.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada, oferecendo apoio, palavras de incentivo ou colaboração em diferentes momentos. A cada um, meu muito obrigada.

## RESUMO

A crescente geração de resíduos pela indústria cervejeira tem estimulado pesquisas voltadas ao aproveitamento do bagaço de malte, subproduto com elevado potencial para a recuperação de compostos bioativos. Dentre esses compostos, destacam-se os fenólicos, reconhecidos por sua atividade antioxidante e pela possibilidade de aplicação em alimentos funcionais. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial bioativo do bagaço de malte por meio da caracterização físico-química da matéria-prima e da quantificação de compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante em extratos obtidos com diferentes proporções de solventes etanol/água. O bagaço foi seco e moído, apresentando teor de umidade de 4,78%, cinzas de 2,86%, proteínas de 23,07% e lipídios de 0,17%, evidenciando uma composição favorável ao processo extrativo. O teor de compostos fenólicos totais do bagaço moído, sem maceração, foi de  $31,75 \pm 3,02$  mg EAG/100 g. A extração foi realizada por maceração empregando misturas hidroetanólicas nas proporções 10:0, 2:8, 4:6, 6:4 e 8:2 (etanol/água). Os extratos obtidos apresentaram teores de fenóis totais variando entre 6,57 e 13,18 mg EAG/100 g, sendo a maior recuperação observada na proporção 6:4. A atividade antioxidante, determinada pelo método DPPH, variou entre 3,76 e 3,91  $\mu\text{M TE/g}$ , não sendo observada relação direta entre os teores de fenóis totais e a capacidade antioxidante. De modo geral, os resultados demonstram que as características físico-químicas do bagaço de malte e a proporção solvente/água influenciam diretamente a eficiência da extração, confirmando o potencial desse resíduo agroindustrial como fonte de compostos fenólicos e sua aplicabilidade no desenvolvimento de ingredientes funcionais.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de resíduo; DPPH; extração sólido-líquido; maceração.

## ABSTRACT

The increasing generation of waste by the brewing industry has driven research focused on the utilization of brewer's spent grain (BSG), a byproduct rich in fibers, proteins, and bioactive compounds. Among these, phenolic compounds stand out due to their recognized antioxidant activity and their role in enhancing the value of food products as functional ingredients. In this context, the present study aimed to evaluate the bioactive potential of BSG through the physicochemical characterization of the raw material and the quantification of phenolic compounds and antioxidant activity in extracts obtained using different ethanol/water solvent ratios. Initially, the BSG was dried, milled, and analyzed for moisture, ash, protein, and lipid content to understand their influence on the extraction process. Subsequently, the extraction of phenolic compounds was conducted via maceration using hydroethanolic mixtures in ratios of 10:0, 2:8, 4:6, 6:4, and 8:2, evaluating the effect of polarity on extraction efficiency. Total phenolic content was quantified using the Folin–Ciocalteu method, while antioxidant activity was determined by the DPPH assay, expressed in Trolox equivalents (TE). The results showed that mixtures with a balanced ethanol-to-water ratio yielded higher efficiency, with the 6:4 ratio being the most effective. Antioxidant activity ranged between 3.76 and 3.91  $\mu\text{M TE/g}$ . Comparisons with previous studies reinforced that extraction conditions, malt characteristics, and the physicochemical properties of the residue significantly influence the results. It is concluded that brewer's spent grain possesses relevant potential as a source of phenolic compounds, standing out as a promising byproduct for upcycling and the development of functional ingredients.

**Keywords:** Residue valorization; DPPH; solid–liquid extraction; maceration.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxograma geral de produção de cerveja.....	17
Figura 2: Potenciais aplicações para o aproveitamento do bagaço do malte.....	20
Figura 3: Bagaço de malte congelado.....	24
Figura 4: Secagem do bagaço de malte.....	25
Figura 5: Moagem do bagaço seco (A - malte seco; B - moinho de facas (modelo MA-580); C - moagem.....	25
Figura 6: Granulometria do bagaço moído (A - Série de peneiras na mesa agitadora; B - Peneiras em sequência) .....	26
Figura 7: Soluções hidroetanólicas.....	27
Figura 8: Pesagem inicial do bagaço moído.....	28
Figura 9: A - Banho agitado; B - Filtração .....	28
Figura 10: Mistura para leitura em espectrofotômetro.....	29
Figura 11: Preparação com a solução de DPPH.....	30
Figura 12: Misturas para leitura em espectrofotômetro.....	30

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Resultados obtidos para o bagaço de malte moído.....	34
Tabela 2: Resultados de fenóis totais e atividade antioxidante.....	36

## **LISTA DE SIGLAS**

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária

BM - Bagaço de Malte

ABST - 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)

DPPH - 1,1-difenil-2-picrilhidrazil

FBM – Farinha de bagaço de malte

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Cerveja no Brasil e no mundo .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Processo cervejeiro e geração de resíduos.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.1 Bagaço de malte .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Compostos bioativos e atividade antioxidante .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5 Métodos extrativos de compostos.....</b>	<b>22</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Materiais.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Métodos .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.1 Preparação e caracterização da matéria-prima. ....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.1.1 Determinação de umidade .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.1.2 Análise de cinzas .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.1.3 Quantificação de proteínas.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2.1.4 Determinação de lipídios .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3 Extração Etanólica do Bagaço de Malte.....</b>	<b>28</b>
<b>4.4 Quantificação dos compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4.1 Determinação dos Compostos Fenólicos Totais pelo Método de FolinCiocalteu ...</b>	<b>30</b>
<b>4.4.2 Determinação da Atividade Antioxidante pelo método DPPH .....</b>	<b>31</b>
<b>5. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Composição físico-química do bagaço moído .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Quantificação de compostos fenólicos do bagaço moído.....</b>	<b>34</b>
<b>5.3 Quantificação de compostos fenólicos e avaliação da atividade antioxidante no extrato .....</b>	<b>35</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>38</b>
<b>7 TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cerveja, cuja origem etimológica remonta ao latim *bibere* (beber), é uma das bebidas mais antigas e consumidas no mundo, com registros históricos de produção datados entre 6.000 e 8.000 anos. No Brasil, a cerveja ocupa uma posição de destaque, sendo a bebida alcoólica mais consumida no país e um dos principais motores econômicos do setor alimentício. Em 2019, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial, com uma produção de 15,4 bilhões de litros (SINDICERV, 2019), e esse mercado continua em expansão, como demonstrado pelo aumento de 6,8% nos registros de novas cervejarias em 2023 (MAPA, 2024).

A indústria cervejeira, embora economicamente relevante, enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade. A produção gera grandes quantidades de resíduos orgânicos, sobretudo sólidos como o bagaço de malte, que corresponde a cerca de 85% dos subprodutos sólidos gerados no processo produtivo, e se descartados inadequadamente, os mesmos podem causar sérios impactos ambientais e à saúde pública. No entanto, estudos indicam que o reaproveitamento desses materiais, ricos em fibras, proteínas e outros compostos bioativos, apresenta alto potencial para promover práticas sustentáveis e economia circular (Rech; Zorzan, 2017; MAPA, 2023).

Nesse contexto, a cevada (*Hordeum vulgare*), um dos principais insumos da cerveja, originária do Oriente Médio e cultivada em regiões temperadas, é a quinta cultura mais importante em volume de produção, com uma média anual de 140 milhões de toneladas. Suas características nutricionais, como alto teor de fibras, antioxidantes, vitaminas e minerais, tornam-na uma matéria-prima versátil, utilizada tanto na produção de cervejas quanto na indústria alimentícia e na nutrição animal. O Bagaço de malte é obtido a partir dos grãos de cevada maltados, que é utilizado na etapa de mosturação da cerveja. Nesse processo, os açúcares fermentáveis são extraídos do malte, restando o bagaço, que é rico em fibras, proteínas e outros nutrientes. O bagaço mantém muitos dos compostos bioativos presentes originalmente no grão, sendo estudado para aplicações na indústria de alimentos e rações animais devido ao seu elevado potencial nutricional e funcional (Almeida, 2014).

Entre os diferentes componentes presentes no bagaço de malte, destacam-se os compostos fenólicos, que representam uma das principais classes de metabólitos secundários associados ao seu potencial funcional. Esses compostos, abundantes em cereais como a cevada, permanecem em grande proporção no bagaço após o processo de mosturação, já que muitos deles encontram-se ligados à fração fibrosa do grão (Vieira, 2022). A concentração e o perfil

fenólico desse resíduo podem variar conforme o tipo de malte, o grau de torrefação, as condições de processamento e as características da matriz, fatores que influenciam a disponibilidade e a extração desses compostos (Almeida, 2014). Por apresentarem predominância de fenóis de média polaridade, o bagaço de malte possui reconhecida capacidade antioxidante, sendo considerado um subproduto com potencial para aplicações industriais voltadas ao desenvolvimento de ingredientes funcionais e produtos de maior valor agregado (Diniz, 2021; Massardi et al., 2020). Dessa forma, compreender a natureza e a disponibilidade desses compostos é fundamental para direcionar estratégias de reaproveitamento, estabelecendo uma relação direta entre as características químicas do resíduo e o seu potencial de utilização.

A quantificação dos compostos bioativos presentes no bagaço de malte é essencial para avaliar o potencial dessas substâncias e otimizar sua extração. Conhecer a concentração desses compostos permite aprimorar os processos de reaproveitamento, garantindo que os benefícios, como propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, sejam efetivos e consistentes. Além disso, a quantificação contribui para o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado e para a maximização do uso sustentável dos subprodutos da indústria cervejeira (Araújo *et al.*, 2021).

Dada a importância econômica e os desafios ambientais associados à produção de cerveja, o presente estudo enfoca a utilização do resíduo bagaço de malte, com ênfase na extração sólido-líquido de compostos bioativos. Essa abordagem visa não apenas minimizar os impactos ambientais, mas também agregar valor aos subprodutos do setor cervejeiro, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade e inovação (Martins, 2023).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Extrair e quantificar os compostos fenólicos e antioxidantes do bagaço de malte, visando o aproveitamento do resíduo cervejeiro, para potencial aplicação em produtos alimentícios.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar físico-quimicamente o bagaço de malte moído e seco, realizando a quantificação de umidade, cinzas, lipídios e proteínas;
- Obter o extrato do bagaço de malte através de técnica de extração sólido-líquido (maceração), utilizando solvente hidroetanólico em diferentes proporções (10:0; 2:8; 4:6, 6:4 e 8:2);
- Quantificar os compostos fenólicos totais presentes no extrato de bagaço de malte, através do método Folin-ciocalteau;
- Quantificar a capacidade antioxidante por método DPPH do extrato do resíduo cervejeiro.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

O estudo em questão aborda o processamento da cerveja, com ênfase na geração de resíduos agroindustriais, destacando o resíduo sólido (bagaço de malte) proveniente da etapa de mostura durante a produção. A pesquisa tem como foco a extração e quantificação de compostos fenólicos presentes no bagaço de malte, além da quantificação da atividade antioxidante, buscando promover o aproveitamento desse subproduto rico em nutrientes e compostos benéficos à saúde.

Na revisão teórica, estão descritas as etapas da produção da cerveja, com destaque para as características do resíduo sólido gerado e seus potenciais aplicações. Em seguida, são apresentados os métodos de extração de compostos bioativos e antioxidantes.

#### 3.1 Cerveja no Brasil e no mundo

A história da cerveja remonta, quando os primeiros sinais de sua produção surgiram junto com o desenvolvimento da agricultura, especialmente na região do Crescente Fértil (próxima ao Nilo, Israel e Mesopotâmia). Durante séculos, diferentes civilizações, como egípcios, babilônios e celtas, produziram versões rudimentares dessa bebida, adaptadas às suas culturas e ingredientes locais (Brasil, 2024).

A popularidade da cerveja cresceu com os povos germânicos e celtas, que desenvolveram técnicas aprimoradas, estabelecendo a base para as receitas modernas. A partir da Idade Média, mosteiros europeus assumiram um papel fundamental na fabricação de cervejas, inovando com o uso do lúpulo como conservante e melhorador de sabor. O marco regulatório mais conhecido, o "Reinheitsgebot" (Lei da Pureza da Cerveja) de 1516, foi criado na Baviera para garantir a pureza da bebida, permitindo apenas água, cevada e lúpulo em sua composição. A Revolução Industrial, no século XVIII, transformou a produção artesanal em um processo industrializado, possibilitando maior controle de qualidade e maior alcance comercial (Brasil, 2024).

A cerveja Pilsener, criada em 1842 por Josef Groll na cidade de Pilsen, é considerada um marco da modernidade, com sua coloração dourada e sabor equilibrado entre o lúpulo e o malte. Outro destaque histórico é a Weihenstephan, uma das cervejarias mais antigas do mundo ainda em atividade, com registros de produção desde o ano de 1040 na Baviera. No Brasil, a

cerveja chegou com os colonizadores europeus e ganhou impulso no século XIX, especialmente com a imigração alemã. Durante o século XX, dominada por grandes marcas, a produção brasileira se concentrou em cervejas Lager, leves e adaptadas ao clima tropical. Mais recentemente, o país vivenciou um boom de cervejas artesanais, destacando a diversidade de estilos e resgatando tradições históricas da arte cervejeira (Brasil, 2024).

Segundo a Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019, define-se cerveja a bebida resultante da fermentação a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro (Brasil, 2019). O processo de produção de cerveja é um procedimento complexo e padronizado que envolve diversas etapas, desde a preparação dos ingredientes, que são, água, malte e lúpulo, até o envase final do produto.

As possíveis variações ditas pela legislação para a produção de cerveja incluem a adição de ingredientes regionais, como frutas e a substituição parcial do malte de cevada por outros cereais conhecidos como adjuntos, podendo ser o trigo, arroz, sorgo e milho, que reduzem os custos e adicionam características únicas ao produto, como por exemplo, tonalidades de acordo com o cereal utilizado (Venturini Filho, 2016). Com o aumento do interesse por cervejas artesanais, a quantidade de microcervejarias tem crescido, contribuindo para um aumento anual de aproximadamente 4,5% nas vendas (Brasil, 2023). A seguir, será citado cada estágio do processo, com base no esquema fornecido na Figura 1, destacando os aspectos técnicos e as inovações que podem ser aplicadas para otimização da produção (Brasil, 2024).

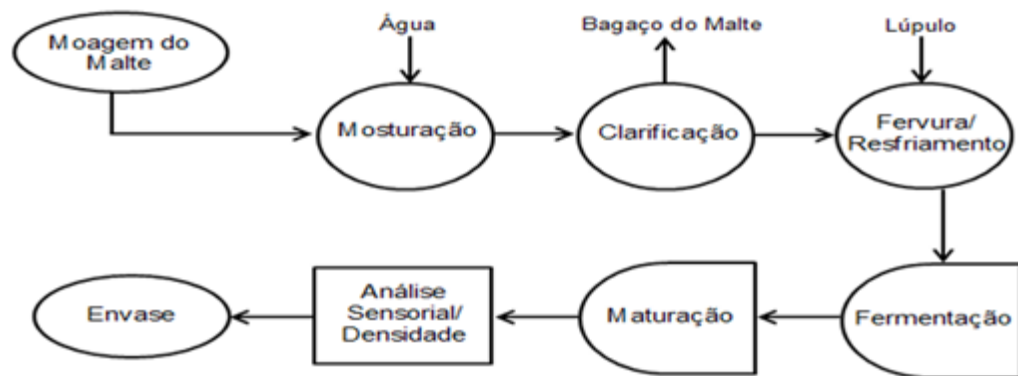
### **3.2 Processo cervejeiro e geração de resíduos**

A cerveja, uma das bebidas mais antigas e consumidas do mundo, resulta de um processo bioquímico meticuloso e fascinante. Sua produção, historicamente baseada em quatro ingredientes fundamentais (malte, lúpulo, água e levedura), é uma sequência de transformações que extraem açúcares do grão e os convertem em álcool e dióxido de carbono. A compreensão das etapas deste processamento é essencial para garantir a qualidade, a estabilidade e as características sensoriais finais que definem cada estilo de cerveja.

O processo, descrito pela Figura 1, se inicia com a Moagem do Malte, triturando os grãos para que o amido fique exposto. O malte moído é, então, misturado com Água na etapa

de Mosturação (Brassagem), onde enzimas convertem o amido em açúcares fermentáveis, formando o mosto. Em seguida, na Clarificação, o mosto líquido é separado dos sólidos, gerando o Bagaço do Malte, que é o principal resíduo sólido do processo. O mosto clarificado segue para a Fervura, onde o Lúpulo é adicionado para sabor, aroma e conservação, sendo imediatamente seguido pelo Resfriamento rápido. O mosto resfriado é enviado para a Fermentação, onde a levedura transforma os açúcares em álcool e dióxido de carbono. A bebida passa então pela Maturação, um período de descanso para o refinamento de sabores. Por fim, o produto é submetido à Análise Sensorial/Densidade para controle de qualidade antes de ser direcionado para o Envase final.

Figura 1 - Fluxograma geral de produção de cerveja.



Fonte: Pelegrini; Horodenski; Baggenstoss, 2019.

A moagem do malte é realizada com um moinho de rolos, reduzindo os grãos para a preparação do mosto. Este mosto consiste na mistura do malte moído com água. Durante as etapas de mostura, clarificação, fervura e resfriamento, monitora-se a temperatura e pressão (Pelegrini; Horodenski; Baggenstoss, 2019).

A clarificação do mosto ocorre por filtragem sucessiva na segunda panela do processo, até que atinja as características desejadas (Pelegrini; Horodenski; Baggenstoss, 2019).

Durante a fervura, é adicionado o lúpulo, que confere amargor, aroma e durabilidade à cerveja. Após o resfriamento, o fermento é adicionado, iniciando o processo de fermentação, que ocorre conforme a receita específica da cerveja (Pelegrini; Horodenski; Baggenstoss, 2019).

Após a fermentação, a cerveja passa por cerca de 15 dias de maturação, seguida de nova análise sensorial e de densidade antes de ser transferida para barris, que permanecem refrigerados até a distribuição (Pelegrini; Horodenski; Baggenstoss, 2019).

A análise sensorial é essencial para acompanhar a qualidade da produção, especialmente em uma empresa sem laboratório técnico, sendo aplicada em todas as etapas e complementada

pela avaliação dos consumidores. Além disso, rigorosos padrões de higienização, seleção de insumos e uso de EPIs são adotados para garantir segurança e conformidade com as exigências da indústria alimentícia (Pelegriani; Horodenski; Baggenstoss, 2019).

Essa produção gera grandes volumes de resíduos, sendo os principais o bagaço de malte, levedura usada e lama de lúpulo. Esses resíduos têm valor econômico e ambiental, sendo utilizados em ração animal, fertilizantes, produção de biomassa e até como ingredientes na indústria alimentícia e cosmética (MAPA, 2024).

A geração de resíduos em setores produtivos é inevitável, produzidos em grandes quantidades industrialmente a partir do beneficiamento e industrialização de alimentos, o mesmo pode ser sólido, líquido ou gasoso, ou a mistura entre os mesmos. Esses resíduos oriundos de indústrias podem conter grande potencial poluente, portanto deve-se um descarte adequado ou reaproveitamento, levando em consideração o grande avanço tecnológico.

Dentre os principais resíduos gerados de indústrias alimentícias, temos os sólidos, contendo um alto teor nutritivo, viabilizando assim, um reaproveitamento, com intuito que não haja o descarte desses nutrientes e possam ser encorpados ou até mesmo substituintes no processamento de outros produtos, abrangendo diversas áreas, como da panificação (Morosini; Bortoluzzi; Muller, 2018; Silva, 2023;).

Segundo Lima (2010), o processo de produção de cerveja, no geral, tem como resíduos levedura, terra diatomácea, o bagaço de malte, efluente líquido, os sedimentos das dornas (“trub”), o lodo (estação de tratamento de água e efluentes), os óleos (lubrificante, hidráulico e combustível), os resíduos do envase (pasta celulósica, garrafas quebradas, latas, tampas metálicas, plástico e papelão) e os gases (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, hidrocarbonetos). Dentre estes, o principal é o bagaço de malte (proveniente do malte da cevada) que corresponde a cerca de 85% do total de resíduos, e pode ser considerado como subproduto, pois é comercializado pelas cervejarias para fins de alimentação animal. Subproduto esse gerado em grande quantidade o ano todo, com estimativa de a cada 100 kg de malte de cevada utilizado no processo obtém-se de 125 kg a 130 kg de bagaço úmido, tendo em vista a relação de 20 kg de bagaço a cada 100 litros de cerveja produzida.

Os resíduos agroindustriais gerados necessitam de um pré-tratamento antes do descarte, visando um descarte adequado, que não gere impactos ambientais, e sem danos à saúde.

### 3.2.1 Bagaço de malte

No Brasil, a produção de cerveja utiliza principalmente o malte de cevada (*Hordeum vulgare*) como matéria-prima, cevada essa oriunda das regiões temperadas da Europa, Ásia e América do Norte, porém, no Brasil, a produção concentra-se nas regiões de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (Amorim; Kunz; Silva, 2014; Martins, 2023).

O bagaço de malte, também conhecido como polpa cervejeira, é o resíduo protéico sólido, resultante do início do processo de fabricação de cerveja, mais especificamente, após a etapa de mosturação onde são extraídos todos os compostos solúveis que constituem o mosto doce e clarificado. Esse subproduto é produzido em grande escala durante o ano todo (Amorim; Kunz; Silva, 2014).

Na produção de cerveja, o malte é prensado e misturado com água para formar o mosto, promovendo a liquefação e a hidrólise do amido em açúcares. Esse processo permite a extração de 65% dos sólidos do malte. A parte sólida, que é o bagaço de malte, é separada e pode ser comercializada para ração animal em diferentes formas: úmida, prensada ou seca. Embora a forma úmida seja mais cara para transporte, ela representa menor custo de produção e, portanto, é a mais comum no mercado (Almeida, 2014; Amorim; Kunz; Silva, 2014; Martins, 2023).

No Brasil, segundo Martins (2023), para cada 100 kg de grãos processados, são gerados 125 a 130 kg de bagaço úmido, correspondendo a aproximadamente 20 kg de bagaço a cada 100 litros de cerveja produzida. Em 2012, obteve uma produção de 13,74 bilhões de litros de cerveja, gerando aproximadamente 2,74 bilhões de kg desse subproduto, o que tem incentivado o uso desse material em pesquisas (Amorim; Kunz; Silva, 2014).

O valor nutricional do bagaço de malte depende do tipo de cerveja e do processo de produção. A composição química é influenciada pela origem da cevada e pela adição de outros cereais, como milho, trigo, aveia e arroz. O bagaço de malte é amplamente reconhecido como um concentrado rico em fibras, proteínas e compostos fenólicos, mantendo grande parte dos nutrientes e bioativos presentes no grão de cevada após a mosturação (Almeida, 2014; Vieira, 2022). Além disso, destaca-se como uma fonte relevante, especialmente ácidos hidroxicinâmicos, entre os quais se sobressaem o ácido ferúlico, o ácido *p*-cumárico, o ácido sinápico e o ácido cafeico. O bagaço também contém outros bioativos, como tocoferóis, fitoesteróis e carotenoides, substâncias associadas a efeitos antioxidantes e à proteção contra doenças cardiovasculares. Diante da rica composição desse resíduo, crescem estudos de diversificações de reaproveitamento, identificação dos compostos

presentes e possíveis novas aplicações ou até mesmo substituições em composições de produtos alimentícios, agregando valores nutricionais como aditivo natural e agindo como conservadores e mantenedores da saúde através dos antioxidantes presentes, como consequência tem-se a valorização de produtos (Almeida, 2014; Amorim; Kunz; Silva, 2014; Martins, 2023). A Figura 2 apresenta algumas possibilidades de aproveitamento do BM.

Figura 2: Potenciais aplicações para o aproveitamento do bagaço do malte.



Fonte: Costa *et al.* (2019).

### 3.4 Compostos bioativos e atividade antioxidante

Os compostos fenólicos estão amplamente distribuídos nas plantas, sendo classificados como metabólitos secundários essenciais para o crescimento, reprodução e defesa contra patógenos, além de influenciarem a pigmentação vegetal (Ângelo, 2007). Nos alimentos, esses compostos são responsáveis por características sensoriais e tecnológicas, como cor, adstringência, aroma e estabilidade à oxidação (Ângelo, 2007). Quimicamente, apresentam como principal característica a presença de pelo menos um anel aromático associado a um grupo hidroxila, que pode estar livre ou ligado a outras moléculas, como ésteres, açúcares ou proteínas (Santos, 2011). Esses compostos constituem um grupo diversificado de fitoquímicos originados da fenilalanina e da tirosina, incluindo ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, taninos e lignanas (Ângelo, 2007; Santos, 2011).

Dentre a ampla variedade de compostos fenólicos, destacam-se os flavonoides, os ácidos fenólicos, os fenóis simples, as cumarinas e os taninos (Ângelo, 2007). Os flavonoides possuem uma estrutura básica composta por 15 átomos de carbono organizados em três anéis (C6–C3–C6), sendo subdivididos em flavonóis, flavonas, isoflavonas e antocianinas,

amplamente reconhecidos por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Os ácidos fenólicos, derivados dos ácidos benzóico e cinâmico, apresentam um anel aromático associado a grupos carboxílicos, sendo abundantes em frutas, vegetais e cereais, contribuindo para a estabilidade oxidativa dos alimentos. Os taninos, por sua vez, são polifenóis de elevado peso molecular, classificados em hidrolisáveis (derivados dos ácidos gálico e elágico) e condensados, conhecidos como proantocianidinas, responsáveis pela adstringência de diversos alimentos e por apresentarem propriedades antimicrobianas (Santos, 2011).

Os compostos fenólicos desempenham papel fundamental na defesa das células contra o estresse oxidativo, sendo amplamente associados a benefícios à saúde humana, como a prevenção de doenças cardiovasculares e do câncer (Santos, 2011). A presença de compostos bioativos em alimentos é, portanto, de grande interesse nutricional, uma vez que esses compostos contribuem positivamente para a promoção da saúde (Piccirillo, 2018). Em especial, os compostos fenólicos apresentam elevada bioatividade mesmo em pequenas quantidades, atuando como sequestradores de radicais livres formados durante reações oxidativas decorrentes do metabolismo respiratório de células aeróbias, que podem causar danos ao organismo (Batista, 2021).

Os antioxidantes podem ser classificados como naturais ou sintéticos e têm como principal função inibir ou retardar reações de oxidação lipídica, além de prevenir a oxidação de proteínas. Sua presença no trato gastrointestinal humano é considerada essencial, pois a ingestão desses compostos está associada à redução do risco de doenças crônicas, conferindo inúmeros benefícios à saúde (Martins, 2023). No entanto, apesar de sua relevância, os compostos fenólicos apresentam elevada sensibilidade a fatores como altas temperaturas, variações extremas de pH e exposição à luz e ao oxigênio, o que pode comprometer sua estabilidade (Santos, 2011).

Nesse contexto, a extração de compostos fenólicos tem sido amplamente estudada, sendo realizada por meio de técnicas que utilizam solventes orgânicos ou inorgânicos. A escolha do solvente influencia diretamente o rendimento da extração, assim como parâmetros operacionais como tempo, temperatura e número de ciclos extrativos (Ludka, 2022). Entre as técnicas empregadas, destacam-se métodos convencionais, como Soxhlet, maceração, hidrodestilação, infusão, percolação e decocção, além de métodos modernos, como a extração assistida por micro-ondas e a extração com fluido supercrítico, que permite a obtenção de extratos mais puros, com menor degradação térmica e menor coextração de compostos indesejáveis (Santos, 2011; Ludka, 2022).

A avaliação da atividade antioxidante dos extratos obtidos é comumente realizada por métodos colorimétricos, sendo os ensaios ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) e DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) os mais utilizados. Esses métodos baseiam-se em reações químicas, eletroquímicas ou enzimáticas que permitem quantificar a capacidade antioxidante dos compostos presentes nos extratos (Almeida A., 2014; Martins, 2023).

### **3.5 Métodos extrativos de compostos**

O processo de extração deve ser rápido, simples, econômico e apresentar boa repetibilidade, sendo baseado na transferência de massa entre o sólido e o solvente, responsável por solubilizar compostos voláteis e não voláteis presentes na matriz (Ferreira, 2022). Dependendo do estado físico do material e do solvente, a extração pode ocorrer por meio de técnicas sólido-líquido, líquido-líquido ou sólido-fluido supercrítico. Em metodologias modernas, especialmente naquelas que utilizam fluidos supercríticos ou sistemas assistidos, a automação pode ser integrada ao processo, reduzindo erros operacionais, aumentando a reprodutibilidade e proporcionando maior segurança no manuseio de solventes e reagentes (Queiroz, 2001).

A maceração, técnica empregada neste trabalho, é um método extrativo brando que consiste no contato prolongado entre o material sólido moído e o solvente, permitindo que os compostos se difundam gradualmente para a fase líquida. Trata-se de um procedimento adequado para compostos sensíveis ao calor, como os fenóis presentes no bagaço de malte, já que não envolve altas temperaturas nem pressões elevadas (Vieira, 2022; Santiago, 2023). Sua eficiência depende de variáveis como polaridade do solvente, tempo de extração, proporção sólido:solvente e granulometria, fatores que influenciam diretamente a solubilização e a difusão dos bioativos (Almeida, 2014; Diniz, 2021). Solventes hidroetanólicos de polaridade intermediária apresentam melhor desempenho na extração por maceração, pois equilibram afinidade por compostos hidrofílicos e capacidade de penetrar na matriz lignocelulósica (Massardi et al., 2020). Assim, a maceração se destaca como um método eficiente na recuperação de compostos fenólicos, preservando suas características químicas e gerando extratos representativos da composição original do material.

A eficiência da extração de compostos fenólicos está diretamente relacionada à solubilidade do soluto no solvente, influenciada principalmente pela polaridade. Compostos apolares tendem a ser extraídos por solventes apolares, enquanto fenóis de média e alta

polaridade apresentam maior afinidade por misturas hidroetanólicas. Quando a solubilidade é limitada, técnicas contínuas, como o Soxhlet, podem ser empregadas, permitindo recirculação constante do solvente; já a maceração, método descontínuo, depende da difusão natural do composto durante o tempo de contato (UFS, 2012). Apesar de amplamente utilizados, métodos convencionais podem apresentar limitações, tais como elevado consumo energético, menor eficiência e longos tempos de processamento, demandando atenção a variáveis experimentais como razão sólido:solvente, agitação, temperatura, tipo de solvente, pH, tempo de extração e granulometria (Ferreira, 2022). Vieira (2022) reforça a importância da polaridade e da ação da água no intumescimento da matriz lignocelulósica, facilitando o rompimento celular e a liberação de fenóis, enquanto Almeida (2014) destaca que misturas hidroetanólicas intermediárias elevam o rendimento extrativo e reduzem a solubilização de impurezas, evidenciando ainda a relevância da granulometria, do tempo de maceração e da proporção sólido:solvente.

No contexto industrial, a extração sólido-líquido permanece amplamente utilizada, com solventes como etanol, acetato de etila, metanol e acetona para promover a dissolução seletiva dos constituintes solúveis, muitas vezes com aquecimento para acelerar a transferência de massa; a filtração subsequente, por gravidade ou vácuo, separa o extrato do resíduo sólido (Carvalho et al., 2018). Entretanto, desvantagens incluem maior consumo energético e risco de degradação térmica de compostos sensíveis. A granulometria da amostra, o controle de temperatura e o tempo de processo são determinantes para evitar a saturação precoce da solução e assegurar um bom rendimento (Foust et al., 2008). Dessa forma, ao relacionar os fundamentos físico-químicos discutidos por Vieira (2022) com os aspectos operacionais descritos por Almeida (2014), evidencia-se que a eficiência dos métodos extrativos depende da integração entre a escolha adequada do solvente, o comportamento da matriz e o controle rigoroso das condições experimentais, fatores que determinam o sucesso da extração de compostos fenólicos do bagaço de malte.

## 4 METODOLOGIA

Nesta seção, serão detalhadas as metodologias empregadas para a execução da parte prática do estudo, abrangendo todo o fluxo de trabalho, desde o preparo do resíduo cervejeiro (bagaço de malte) de extração, quantificação dos compostos fenólicos totais e a avaliação da atividade antioxidante.

Os procedimentos experimentais e analíticos foram integralmente conduzidos nas instalações da Universidade Federal do Pampa – Campus Bagé. Especificamente, as atividades ocorreram nos laboratórios dos cursos de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química, e no laboratório vinculado ao projeto de pesquisa “Desenvolvimento Tecnológico e Inovação aplicados aos Olivais da Região da Campanha”.

### 4.1 Materiais

O BM foi obtido de produção artesanal de cerveja em Bagé-RS, residual de cerveja estilo Rauchbier. Imediatamente após a coleta, o BM foi congelado a  $-18^{\circ}\text{C}$  para preservar sua integridade físico-química, evitando degradações enzimáticas e oxidativas deixados em sacos plásticos devidamente identificados até sua utilização.

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Preparação e caracterização da matéria-prima

Ao preparar o BM para utilização, o mesmo foi descongelado à temperatura de refrigeração ( $4^{\circ}\text{C}$ ) por aproximadamente 24 h, representado na Figura 3.

Figura 3: Bagaço de malte congelado.



Fonte: Autora, 2025.

Em seguida, procedeu-se à etapa de secagem, o material foi encaminhado para estufa de circulação de ar forçada (modelo 400 – 4ND), a 65 °C, por 24 horas, mostrado pela Figura 4.

Figura 4: Secagem do bagaço de malte.



Fonte: Autora, 2025.

A determinação granulométrica do bagaço de malte foi um passo crucial para a padronização das análises. Essa determinação foi executada após a etapa de moagem, que foi realizada em um moinho de facas (modelo MA-580), mostrado pela Figura 5.

Figura 5: Moagem do bagaço seco (A - malte seco; B - moinho de facas (modelo MA-580); C - moagem).



Fonte: Autora, 2025.

Essa caracterização granulométrica foi executado por meio de peneiramento sequencial, empregando-se uma série de peneiras com aberturas de malha (mesh) de 12, 14, 24, 32 e 60, em mesa agitadora, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6: Granulometria do bagaço moído (A - Série de peneiras na mesa agitadora; B - Peneiras em sequência).



Fonte: Autora, 2025.

Para garantir a uniformidade das amostras e maximizar a eficiência das extrações, a fração de bagaço de malte passante na peneira de *mesh* 60 foi selecionada e utilizada como material de partida exclusivo. Esta foi a granulometria utilizada em bagaço moído, para a caracterização físico-química da matéria prima e extração.

As análises físico-químicas do bagaço de malte (BM) foram realizadas conforme os protocolos descritos no Instituto Adolfo Lutz (2008), em triplicata para garantir precisão e reprodutibilidade.

#### **4.2.1.1 Determinação de umidade**

A análise de umidade foi realizada utilizando estufa de ventilação forçada (105°C), foi realizada pelo método gravimétrico (012/IV IAL, 2008).

#### **4.2.1.2 Determinação de cinzas**

A calcinação foi conduzida a 550°C em mufla, permitindo a determinação do conteúdo mineral, segundo o método IAL 018/IV, 2008.

#### **4.2.1.3 Determinação de proteínas**

O método Kjeldahl foi utilizado para calcular o teor total de proteínas, considerando o nitrogênio amínico como indicador (036/IV IAL, 2008).

#### 4.2.1.4 Determinação de lipídios

A determinação foi realizada pelo método de extração em Soxhlet, empregando éter de petróleo como solvente, com o objetivo de quantificar o teor de lipídios (IAL 032/IV, 2008).

#### 4.3 Extração Etanólica do Bagaço de Malte

A extração etanólica dos compostos presentes no bagaço de malte foi conduzida com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes proporções de solvente sobre a eficiência do processo, adaptada de Almeida et al (2014). Para isso, foram estabelecidas cinco proporções de solução hidroetanólica, correspondentes a 10:0; 2:8; 4:6, 6:4 e 8:2 (etanol:água) (Figura 7), permitindo comparar misturas com diferentes polaridades e potenciais extrativos. O procedimento experimental foi realizado de forma padronizada e em condições controladas, garantindo a reprodutibilidade dos resultados obtidos.

Figura 7: Soluções hidroetanólicas.



Fonte: Autora, 2025.

Inicialmente, foram preparados cinco lotes independentes, cada um processado em triplicata, totalizando quinze unidades experimentais por proporção avaliada. Em cada repetição, foram pesados 5 g de bagaço de malte (Figura 8), previamente homogeneizado para assegurar uniformidade entre as amostras. Após a pesagem, foram adicionados 100 mL da solução hidroetanólica correspondente a cada tratamento, respeitando as proporções definidas.

Figura 8: Pesagem inicial do bagaço moído.



Fonte: Autora, 2025.

As amostras foram então submetidas ao processo de extração em banho agitado, mantido a 25 °C, com agitação constante de 100 rpm, durante 3 horas (Figura 9-A). Essas condições foram escolhidas para favorecer a difusão dos compostos solúveis sem promover degradações térmicas, assegurando uma extração eficiente e comparável entre os diferentes tratamentos (Vieira, 2022). Após o período de agitação, os extratos foram submetidos à filtração (Figura 9-B), obtendo-se o material utilizado nas análises subsequentes de quantificação de fenóis totais e avaliação da atividade antioxidante, conforme os objetivos experimentais.

Figura 9: A - Banho agitado; B - Filtração



Fonte: Autora, 2025.

## 4.4 Quantificação dos Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

### 4.4.1 Determinação dos Compostos Fenólicos Totais pelo Método de Folin-Ciocalteu

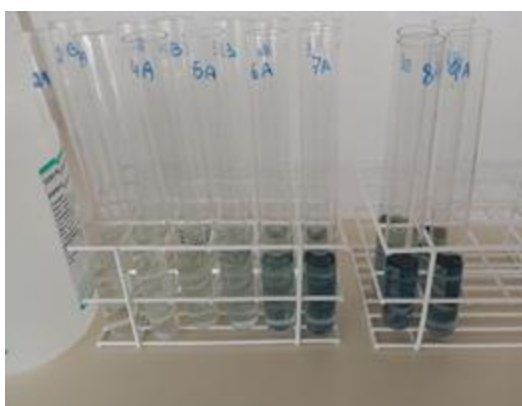
A quantificação dos compostos fenólicos foi realizada seguindo o método Folin-Ciocalteu segundo Lopes (2022), amplamente validado para fenólicos em resíduos agroindustriais.

Foi adicionado 0,1 mL do extrato, 0,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu, 7 mL de água destilada e 2,5 mL de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a 20%, demonstrado pela Figura 11. A mistura foi então incubada por 2 horas no escuro. Após esse período, a absorbância foi medida a 715 nm, e os resultados foram convertidos em equivalentes de ácido gálico (mg GAE/g BM).

Para isso, foi necessário construir uma curva de calibração a partir dos dados de concentração e absorbância obtidos das soluções padrão. A qualidade do ajuste da reta foi avaliada com base no coeficiente de correlação  $R^2 = 0,9989$ , sendo que valores mais próximos de 1 indicam um bom ajuste dos dados experimentais à equação 1.

$$y = 0,0031x + 0,0096 \quad (1)$$

Figura 10: Mistura para leitura em espectrofotômetro.



Fonte: Autora, 2025.

### 4.4.2 Determinação da Atividade Antioxidante pelo método DPPH

A determinação da atividade antioxidante foi realizada pelo método de DPPH descrito por Brand-Williams *et al* (1995), amplamente utilizado devido à sua simplicidade, sensibilidade e reprodutibilidade na avaliação da capacidade de sequestro de radicais livres em extratos

vegetais ou alimentares. Para a análise, o extrato da amostra é preparado em metanol, homogeneizado e centrifugado (1200 rpm, por 15 minutos) para obtenção do sobrenadante rico em compostos antioxidantes. Paralelamente, é preparada a solução de DPPH a partir da solução estoque, cuja absorbância inicial é ajustada para aproximadamente 1,1 a 517 nm, garantindo condições padronizadas de reação. Para a análise, foram utilizados 100  $\mu$ L do sobrenadante do extrato adicionados a 3,9 mL da solução ajustada de DPPH, em tubos de ensaio preparados em triplicata. Também foi preparado um tubo branco, composto por 100  $\mu$ L de metanol e 3,9 mL da solução de DPPH de uso, utilizado como referência (Figura 12). As misturas foram mantidas no escuro por 1 hora para permitir a reação entre os compostos antioxidantes e o radical DPPH. Após esse período, as amostras foram lidas em espectrofotômetro. A atividade antioxidante foi quantificada mediante curva de calibração construída com padrões de Trolox, utilizando a equação 2 e coeficiente de calibração  $R^2 = 0,972$ , obtendo-se o valor de Trolox Equivalente (TE).

$$y = -0,0917x + 1,18 \quad (2)$$

Figura 11: Preparação com a solução de DPPH.



Fonte: Autora, 2025.

Figura 12: Misturas para leitura em espectrofotômetro.



Fonte: Autora, 2025.

## 5 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para caracterizar a composição do bagaço de malte moído e compreender seu comportamento nas etapas subsequentes, foram realizadas análises físico-químicas de umidade, cinzas, lipídios e proteínas. Esses parâmetros fornecem uma visão inicial da estrutura e da qualidade do material, servindo como base para a interpretação dos resultados deste estudo.

### 5.1 Composição físico-química do bagaço moído

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas do bagaço de malte após secagem e moagem, apresentados na Tabela 1, fornecem subsídios essenciais para a compreensão do comportamento da matéria-prima durante a extração de compostos fenólicos e a avaliação da atividade antioxidante. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Tabela 1: Resultados obtidos para o bagaço de malte moído.

Parâmetros (%)	Amostra (BM)
Umidade	4,78 ± 0,03
Cinzas	2,86 ± 0,02
Proteínas	23,07 ± 0,30
Lipídeos	0,17 ± 0,005

Fonte: Autora, 2025. (n=3 ± desvio padrão)

A determinação de umidade, cinzas, proteínas e lipídios foi realizada com o intuito de caracterizar a composição do bagaço, uma vez que tais parâmetros influenciam diretamente a eficiência extrativa e a disponibilidade dos compostos bioativos. O teor de umidade permite avaliar a estabilidade do material e seu potencial de degradação oxidativa; o conteúdo de cinzas reflete a presença de minerais que podem interagir com compostos fenólicos; a quantificação de proteínas auxilia na compreensão das interações matriz-compostos, já que proteínas podem complexar fenóis; e a determinação de lipídios é relevante, pois frações lipofílicas podem reter ou dificultar a liberação de compostos antioxidantes. Dessa forma, as análises físico-químicas constituem uma etapa indispensável para relacionar a composição inicial do bagaço ao seu potencial bioativo, permitindo avaliar, de maneira fundamentada, os resultados de extração de fenóis e atividade antioxidante (Almeida, 2014; Vieira, 2022).

Ao comparar os resultados deste estudo com os valores relatados por Siqueira (2022) para o FBM black (8,47% de umidade; 2,20% de cinzas; 14,48% de proteínas; 6,03% de lipídeos) e por Almeida (2014) para FBM convencional (6,32% de umidade; 3,23% de cinzas; 18,50% de proteínas; 6,41% de lipídeos), observa-se uma variação natural na composição do

bagaço de malte. Essas diferenças podem ser atribuídas a múltiplos fatores que interferem diretamente na caracterização final do material. Elementos como o tipo e o grau de torrefação do malte, as condições empregadas no processo cervejeiro e a intensidade da mosturação influenciam a remoção de componentes da matriz, modificando o perfil químico residual do bagaço. Além disso, os procedimentos adotados após a coleta, especialmente a secagem e a moagem, exercem grande impacto sobre os valores obtidos. A secagem reduz o teor de água e tende a concentrar os demais constituintes. Já a moagem interfere na distribuição das partículas e no aumento de área de contato da amostra analisada, relevante para a eficiência da extração. Assim, as divergências observadas entre este trabalho e os estudos anteriores decorrem das especificidades do processamento e do tratamento do bagaço, refletindo a alta variabilidade inerente a esse subproduto agroindustrial

## **5.2 Quantificação de compostos fenólicos totais no bagaço moído**

No presente estudo, o bagaço de malte moído, sem maceração, apresentou teor de compostos fenólicos totais de  $31,75 \pm 3,02$  mg EAG/100 g. Os extratos hidroetanólicos obtidos a partir do bagaço apresentaram teores de fenóis totais entre 6,57 e 13,18 mg EAG/100 g, de acordo com a proporção etanol/água empregada no processo de extração. Valores nessa faixa também foram reportados por Almeida (2014), que avaliou a quantificação de compostos fenólicos em bagaço de malte e seus respectivos extratos.

De acordo com Vieira (2022), a eficiência da extração depende diretamente da polaridade do solvente e da capacidade da água em promover o intumescimento das paredes celulares, permitindo maior difusão dos fenóis. Mesmo assim, a autora destaca que parte dos compostos permanece inacessível, sobretudo os fenóis ligados ou de maior peso molecular. Essa limitação também é mencionada por Diniz (2021) e Santiago (2023), cujos estudos mostraram que a extração por maceração tende a recuperar apenas a fração mais solúvel, deixando na matriz compostos menos polarizáveis ou fortemente adsorvidos. Trabalhos como o de Massardi et al. (2020), reforçam essa observação ao reportar valores de extração inferiores ao teor total disponível, reforçando o papel da estrutura física do bagaço na retenção dos fenóis.

Além desses aspectos, a literatura sobre processos extrativos destaca que a eficiência de extração por maceração é diretamente influenciado por fenômenos de difusão, transferência de massa e pelas características intrínsecas do método empregado. De acordo com Carvalho *et al.* (2018), os processos de extração sólido-líquido apresentam limitações associadas ao contato entre as fases e à energia disponível para superar as barreiras físicas da matriz vegetal. Foust *et*

*al.* (2008) ressaltam que, uma vez atingido o equilíbrio entre o sólido e o solvente, a taxa de extração tende a diminuir, independentemente da quantidade de compostos ainda presentes na matriz. Dessa forma, os resultados observados neste estudo refletem as limitações inerentes ao processo de maceração, evidenciando que, sob as condições empregadas, apenas uma fração dos compostos fenólicos disponíveis é transferida para o extrato.

### 5.3 Quantificação de compostos fenólicos totais e avaliação da atividade antioxidante no extrato

Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que o teor de compostos fenólicos no bagaço de malte variou de acordo com a proporção etanol/água utilizada na extração. Esses resultados estão apresentados na Tabela 2, com destaque para a relação 6:4, que apresentou o maior valor ( $13,18 \pm 3,03$  mg EAG/100 g).

Tabela 2: Resultados obtidos para compostos fenólicos totais.

Proporções Hidroetanólicas	Fenóis Totais (mg EAG/100g)	Atividade Antioxidante ( $\mu\text{m TE/g}$ )
10:1	$8,95 \pm 0,73$	$3,78 \pm 0,03$
8:2	$10,93 \pm 4,10$	$3,91 \pm 0,16$
6:4	$13,18 \pm 3,03$	$3,76 \pm 0,02$
4:6	$9,94 \pm 0,81$	$3,88 \pm 0,06$
2:8	$6,57 \pm 1,44$	$3,90 \pm 0,01$

Fonte: Autora, 2025.

Os resultados obtidos neste trabalho podem ser contextualizados a partir das condições extrativas empregadas por diferentes autores. Vieira (2022), utilizando maceração com etanol/água 80:20, alcançou  $263,23 \pm 10,97$  mg EAG/g, evidenciando a alta eficiência de solventes hidroetanólicos de maior polaridade na extração de fenóis. Almeida (2014), ao quantificar o teor fenólico diretamente no bagaço seco moído, encontrou  $380,28 \pm 59,99$  mg EAG/100 g, valor inferior ao de Vieira quando proporcionalizado, diferença atribuída pela autora à relação sólido:solvente, ao tipo de malte e às condições de secagem. Diniz (2021) obteve  $447,07$  mg/L utilizando solventes hidroetanólicos sob controle rígido de proporção e tempo, confirmando a afinidade desses compostos por misturas de equilíbrio entre a relação etanol/água. Em contraste, Santiago (2023), empregando extração ultrassônica com etanol-hexano (1:10), relatou apenas  $0,201$  mg EAG/L, demonstrando a limitação de solventes menos

polares na extração de fenóis hidrofílicos. Massardi et al. (2020), utilizando maceração com etanol 80%, reportaram  $8,33 \pm 0,26$  mg EAG/g, rendimento reduzido possivelmente associado ao tamanho de partícula, tipo de malte ou tempo de contato sólido-líquido.

Ao comparar esses estudos com os resultados obtidos no presente trabalho, observa-se que as diferenças identificadas refletem principalmente a influência do tipo de solvente, do método empregado e dos parâmetros operacionais, que modulam de forma decisiva a eficiência de solubilização dos compostos fenólicos.

Quanto à atividade antioxidante, os valores encontrados neste estudo (3,76 a 3,91  $\mu$ M TE/g) situam-se dentro do intervalo esperado para extratos obtidos por maceração com solventes hidroetanólicos. Esses valores são menores que os de Vieira (2022), cuja elevada concentração de fenóis resultou em alta capacidade antioxidante. Almeida (2014) descreveu atividade antioxidante moderada, compatível com extratos de menor complexidade, comportamento semelhante ao observado neste trabalho. Diniz (2021) obteve atividade superior, acompanhando o alto teor de fenóis de seu extrato. Em sentido oposto, Santiago (2023) relatou valores bastante reduzidos, refletindo o baixo rendimento de fenóis em solvente etanol-hexano. De forma similar, Massardi et al. (2020) observaram atividade antioxidante modesta, coerente com o teor de fenóis obtido. Assim, verifica-se que a atividade antioxidante acompanha a tendência geral da concentração de compostos fenólicos, embora também dependa do perfil químico específico dos compostos presentes.

As diferenças entre os resultados deste estudo e os valores da literatura também podem ser explicadas por particularidades metodológicas. A secagem a 65 °C por 24 horas possivelmente reduziu compostos fenólicos termossensíveis (Vieira, 2022; Almeida, 2014). A massa inicial de 5 g influencia a razão sólido:solvente e, conseqüentemente, a difusividade dos compostos, aspecto destacado por Diniz (2021) e Massardi et al. (2020). A exposição à luz durante a manipulação pode ter favorecido a oxidação de compostos fenólicos (Santiago, 2023). Além disso, granulometria, tipo de malte, polaridade do solvente e características intrínsecas da matriz lignocelulósica influenciam diretamente o rendimento final. Mesmo utilizando metodologias analíticas padronizadas (Folin-Ciocalteu e DPPH), pequenas variações nas condições de análise podem resultar em diferenças adicionais.

Assim, os resultados obtidos neste estudo, apresentados na Tabela 2, mostram-se coerentes com os padrões relatados na literatura, evidenciando tanto a variabilidade natural do bagaço de malte quanto a sensibilidade do processo extrativo aos parâmetros operacionais adotados.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que o bagaço de malte apresenta características físico-químicas favoráveis à extração de compostos bioativos, configurando-se como uma matriz promissora para esse fim. O material moído, sem etapa prévia de maceração, apresentou teor de compostos fenólicos totais de  $31,75 \pm 3,02$  mg EAG/100 g, evidenciando que parte significativa desses compostos permanece associada à matriz sólida. Os elevados teores de proteínas (23,07%) e cinzas (2,86%) indicam uma composição típica de resíduos lignocelulósicos, os quais podem influenciar a retenção e a liberação dos compostos fenólicos durante o processo extrativo.

A baixa umidade do bagaço (4,78%) contribuiu para a estabilidade do material e favoreceu sua manipulação e armazenamento, enquanto o reduzido teor de lipídios (0,17%) minimizou possíveis interferências na extração. Os extratos hidroetanólicos apresentaram teores de fenóis totais variando entre 6,57 e 13,18 mg EAG/100 g, dependendo da proporção etanol/água utilizada, sendo a proporção 6:4 a que resultou no maior rendimento de compostos fenólicos. Esses resultados evidenciam que a escolha da composição do solvente exerce influência significativa sobre a eficiência da extração, impactando diretamente a recuperação dos compostos de interesse.

A atividade antioxidante dos extratos variou entre 3,76 e 3,91  $\mu\text{M TE/g}$ , confirmando a presença de compostos com capacidade de sequestro de radicais livres. No entanto, a ausência de uma relação direta entre os teores de fenóis totais e a atividade antioxidante sugere que outros compostos presentes nos extratos, bem como possíveis interações entre eles, podem contribuir para o comportamento antioxidante observado.

De forma geral, os resultados indicam que as etapas de secagem, redução da granulometria e definição adequada das proporções solvente/água foram determinantes para a eficiência do processo extrativo. A concordância dos valores obtidos com aqueles reportados na literatura reforça a adequação das condições de maceração empregadas, confirmando a extração sólido-líquido como uma estratégia viável e eficiente para a recuperação de compostos fenólicos a partir do bagaço de malte. Assim, o reaproveitamento desse resíduo agroindustrial mostra-se uma alternativa sustentável e com potencial aplicação no desenvolvimento de ingredientes funcionais e produtos de maior valor agregado.

## 7 TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados obtidos e as limitações observadas durante a condução do estudo, recomenda-se que trabalhos futuros explorem metodologias extrativas mais avançadas, capazes de aumentar o rendimento e a seletividade dos compostos fenólicos presentes no bagaço de malte. Técnicas como extração assistida por ultrassom, micro-ondas, líquidos pressurizados ou fluidos supercríticos apresentam potencial para otimizar a difusão de compostos bioativos e reduzir o tempo de processamento, possibilitando comparações diretas com a maceração tradicional empregada neste estudo. A investigação sistemática de diferentes razões sólido:solvente, granulometrias e tempos de extração também se mostra relevante, uma vez que tais parâmetros influenciam de forma significativa a transferência de massa e o equilíbrio entre solvente e matriz.

Além disso, recomenda-se a realização de análises qualitativas mais detalhadas dos compostos extraídos, utilizando técnicas cromatográficas como HPLC-DAD, HPLC-MS/MS ou UHPLC. A identificação individual dos fenóis presentes no bagaço de malte permitirá correlacionar estruturas químicas específicas com a capacidade antioxidante observada, aprofundando a compreensão do potencial funcional desse resíduo. Da mesma forma, a aplicação de métodos antioxidantes complementares, como ABTS, FRAP, ORAC e ensaios enzimáticos, pode fornecer uma avaliação mais abrangente da atividade bioativa dos extratos, uma vez que diferentes métodos respondem a distintos mecanismos de oxidação.

Outra possibilidade de avanço consiste na incorporação dos extratos em sistemas alimentícios ou materiais funcionais, com o objetivo de verificar sua estabilidade, interação com diferentes matrizes e desempenho tecnológico. Estudos envolvendo produtos de panificação, bebidas funcionais, filmes biodegradáveis ativos ou sistemas de embalagem antioxidante podem contribuir para validar a aplicabilidade dos compostos extraídos em contextos industriais. Paralelamente, a avaliação da estabilidade térmica e oxidativa dos extratos é essencial para determinar seu comportamento durante o processamento e armazenamento de alimentos.

Finalmente, sugere-se o desenvolvimento de análises econômicas e ambientais que considerem a viabilidade da valorização do bagaço de malte em escala industrial. Investigações envolvendo custos operacionais, disponibilidade de matéria-prima, impacto ambiental e

potencial de inserção em cadeias produtivas sustentáveis podem fornecer subsídios importantes para a implementação de tecnologias de reaproveitamento do resíduo. Dessa forma, os trabalhos futuros poderão ampliar o conhecimento sobre o potencial bioativo do bagaço de malte e contribuir para sua utilização como ingrediente funcional, alinhando-se às demandas contemporâneas por práticas sustentáveis e de economia circular.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA A.R. **Compostos bioativos do bagaço de malte: Fenólicos, capacidade antioxidante in vitro e atividade antibacteriana**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Programa de Pós Graduação de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/35738/R%20-%20D%20-%20ALINE%20DA%20ROSA%20ALMEIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- ALMEIDA, A. *et al.* Bioactive compounds from brewer's spent grain: phenolic compounds, fatty acids and in vitro antioxidant capacity. *Acta Scientiarum Technology*, v. 39, n. 3, p. 269-277, 2017. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/28435/pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.
- AMORIM, T. S.; KUNZ, A.; SILVA, M. F. **Caracterização de resíduos cervejeiros**. 2016. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N.. **Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão**. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, São Paulo, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.
- Anuário da cerveja 2024: confira os principais destaques; **Organismo Investimentos**, 2024
- ARAÚJO L.; PESSOA L.; CARDOSO L.; MAIA P. Boletim nº 12, 2021. UNIRIO. Disponível em: <https://www.unirio.br/pro-reitorias-1/prae/nutricao-prae-1/quarentena/carregamento-boletins-setan-2021/boletim-no-12-2021>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- BATISTA E., 2021; **Cerveja artesanal: Uma revisão sobre o seu processo de produção e seu potencial antioxidante**; Patos de Minas-MG. Disponível em: [https://drive.google.com/file/d/1YiLtL6LW84Gw6BLLoPynxm4rfJ\\_4g31L/view](https://drive.google.com/file/d/1YiLtL6LW84Gw6BLLoPynxm4rfJ_4g31L/view). Acesso: 21 jun. de 2024.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. Acesso em: 04 nov. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019**. Define cerveja e dispõe sobre os padrões de identidade e qualidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 dez. 2019. Disponível em: <https://vlex.com.br/vid/instrucao-normativa-n-65-862095144#:~:text=Art.%202%C2%BA%20Conforme%20definido%20no%20art.%2036%C2%do,malte%20poder%C3%A1%20ser%20substitu%C3%ADda%20parcialmente%20por%20adjunto%20cervejeiro>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Setor cervejeiro segue crescendo a cada ano**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- CARNEIRO B., 2022; **Resíduos das cervejarias: O que fazer com o bagaço do malte?** 2022. Disponível em: <https://cervejaemalte.com.br/blog/bagaco-do-malte>. Acesso em: 09 out. 2024.

CARNEIRO B., 2022; **Resíduos da produção de alimentos: como aproveitar**. Disponível em: <https://gepea.com.br/residuos/#:~:text=Os%20principais%20res%C3%ADduos%20que%20a,maior%20n%C3%BAmero%20de%20efluentes%20biol%C3%B3gicos>. Acesso em: 15 jun. 2024.

CARNEIRO, G. **As leis da cerveja artesanal no Brasil**. *JusBrasil*, 2017. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/as-leis-da-cerveja-artesanal-no-brasil/549058900>. Acesso em: 21 jun. 2024.

CARVALHO M., *et al.* 2018. Métodos de extração de compostos bioativos: Aproveitamento de subprodutos na agroindústria. **Revista UNINGÁ Review ISSN2178-2571**. v. 33, n. 1, p. 66-84. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1534/1671>. Acesso: 15 nov. 2024.

CHIN, Y. L.; *et al.* Brewers' spent grain proteins: The extraction method determines the functional properties. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 94, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856423006208>. Acesso em: 3 dez. 2024.

CORDEIRO L.; *et al.*, 2012; Caracterização do bagaço de malte oriundo de cervejarias: **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <http://revista.gvaa.com.br>. Acesso em: 22 jun. 2024.

COSTA, G. M. Giovana Moreira da Costa **ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO**

DIAS, T. **Determinação da atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH•**. Versão 2. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Nutrição, Laboratório de Nutrição e Análise de Alimentos, 06 fev. 2018. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/128/o/DPPH-LANAL.pdf?1545409243>. Acesso em: 26 fev. 2025.

DIAS, T. **Determinação do teor de fenólicos totais (Folin-ciocalteu) - Espectrofotometria**. *Fenólicos Totais* - LANAL. Versão 2. Universidade federal de goiás, UFG, Faculdade de nutrição, Laboratório de nutrição e análise de alimentos. 25 maio. 2016. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/128/o/Fen%C3%B3licos\\_Totais\\_-\\_LANAL-UFG\\_Vers%C3%A3o\\_2.pdf?1545409339](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/128/o/Fen%C3%B3licos_Totais_-_LANAL-UFG_Vers%C3%A3o_2.pdf?1545409339). Acesso em: 28 mar. 2025.

Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/72386/R%20-%20D%20-%20GIULIA%20HERBST.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso: 03 jul. 2024.

Disponível em: <https://organismobrasil.com.br/anuario-da-cerveja-2024confira-os-principais-destaques/> acesso: 26 jun. 2024.

Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/17098>. Acesso: 21 jun. 2024.

em: 3 nov. 2024.

DINIZ, K. M. **Aplicação de bagaço de malte em formulações lácteas tipo requeijão**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023.

FERREIRA, E. L.; **Avaliação de diferentes métodos de extração como estratégia para melhorar a atividade antioxidante de extratos obtidos de resíduos de casca de café**. 2022. 53 f.. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2022. Disponível em: <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/2197>. Acesso em: 27 jun. 2024.

FÍSICO-QUÍMICA DE FARINHA DE. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em:

FOUST, A.S.; *et al.* **Princípios das Operações Unitárias**. Rio de Janeiro; LTC, 2008. Disponível em: Biblioteca Unipampa-campus Bagé. Acesso em: 15 nov. 2024.

HERBST G., 2021; **Obtenção e caracterização de extratos de bagaço de malte via extração por líquidos pressurizados**. Universidade Federal do Paraná. <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/alimentos/article/view/1372>. Acesso

LIMA, U. A. **Matérias-primas dos alimentos**. Ed. 2010. São Paulo, Brasil. *Blucher*. P. 99, 105. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/Mat%C3%A9rias\\_Primas\\_dos\\_Alimentos/eCTTDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=baga%C3%A7o%20de%20malte&pg=PA103&printsec=frontcover](https://www.google.com.br/books/edition/Mat%C3%A9rias_Primas_dos_Alimentos/eCTTDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=baga%C3%A7o%20de%20malte&pg=PA103&printsec=frontcover). Acesso em: 2 dez. 2024.

LOPES, T.

B., *et al.* Exploring the bioactive potential of brewers spent grain ohmic extracts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 76 (2022). Porto, Portugal b CEB - Centre of Biological Engineering, University of Minho, Braga, Portugal 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102943>. Acesso em: 2 dez. 2024.

LUDKA, F. R.; **Filmes biodegradáveis contendo extrato de bagaço de malte: desenvolvimento e potencial antioxidante**. 2022. Dissertação. (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2022. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3664>. Acesso em: 21 jun. 2024.

MASSARDI, M. M.; MASSINI, R. M. M.; SILVA, D. J. **Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado**. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 6, n. 1, p. 83–91, 2020. DOI: 10.18540/jcecv16iss1pp0083-0091.

MAPA, 2023; **Setor cervejeiro segue crescendo a cada ano**. Disponível em: <https://www.gov.br/>. Acesso: 21 jun. 2024.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Anuário da cerveja, 2024. **CervBrasil - Associação Brasileira da Indústria Cervejeira**. Disponível em: [http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/a-cerveja/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/a-cerveja/). Acesso: 21 jun. 2024.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da Cerveja 2024 : ano de referência 2023 / Ministério da Agricultura e Pecuária**. *Secretaria de Defesa Agropecuária*. – Brasília: MAPA/SDA, 2024. Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/wp-content/uploads/2024/05/Anuario-da-cerveja-2024-referencia-2023-MAPA-versao-web.pdf>. Acesso: 21 jun. 2024.

MARTINS C. G.; *et al.*; **Identificação e qualificação de compostos bioativos do coproduto de cervejaria, bagaço de malte, e determinação da**

**capacidade antioxidante**; 2023. Disponível

em: <https://revistas.uece.br/index.php/nutrivisa/article/view/10912/9655>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MATHIAS T.; *et. al.*, 2014; **COBEQ: Caracterização de resíduos cervejeiros**.

MIRANDA, Y. R. S. et al. **Caracterização de bagaço de malte obtido da produção de cerveja como forma de viabilizar a extração de compostos bioativos**. In: ANAIS DO 15º SLACAN - Simpósio Latino Americano De Ciência De Alimentos e Nutrição, 2023, Campinas. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2023. Disponível

em: <https://proceedings.science/slacan-2023/trabalhos/caracterizacao-de-bagaco-de-malte-obtido-da-producao-de-cerveja-como-forma-de-vi?lang=pt-br>. Acesso em: 28 abr. 2024.

MOROSINI, B. L.; BORTOLUZZI, J. N.; MÜLLER, T. R.. **Influência da secagem do bagaço de malte sobre o conteúdo total de compostos fenólicos e atividade antioxidante**. 2018. Projeto (Curso Técnico em Agroindústria Integrado ao Ensino Médio) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus São Miguel do Oeste, São Miguel do Oeste, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2606/PI%20Brenda.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 jun. 2024.

OLIVEIRA G., 2015; **Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH•: estudo de revisão**. Disponível em

: <http://www.scielo.br/j/rbpm/a/5Wrr5LFLJVDN5yYQnFGyWd/>. Acesso: 21 jun. 2024.

PELEGRINI, P.; HORODENSKI, A. P. S.; BAGGENSTOSS, S. **Processo de produção de uma cervejaria artesanal na cidade de Sinop estado de Mato Grosso**. [s. l.], 2019.

PICCIRILLO, E., AMARAL, A. T.; (2018). **Busca virtual de compostos bioativos: conceitos e aplicações**. *Química Nova*, 41(6), 662–677. Disponível

em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170210>. Acesso em 25 nov. 2024.

QUEIROZ, S. C. N.; COLLINS, C. H.; JARDIM, C. S.F. **Métodos de extração e/ou concentração de compostos encontrados em fluidos biológicos para posterior determinação cromatográfica**. *Química Nova*, v. 24, n. 1, p. 68-76, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/GqB7NmLvrNqNYwVdXqj7hjq/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

RAPACKI, C.; 2022. **Métodos de extração de compostos fenólicos do bagaço**. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Química-COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2022. Disponível

em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/256289/001155565.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 jun. 2024.

RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO CERVEJEIRA. 1library, [s.d.].

Disponível em: [https://1library.org/article/res%C3%AAduos-gerados-no-processo-de-produ%C3%A7%C3%A3o-cervejeira.q7r17moy#google\\_vignette](https://1library.org/article/res%C3%AAduos-gerados-no-processo-de-produ%C3%A7%C3%A3o-cervejeira.q7r17moy#google_vignette). Acesso em: 25 out. 2024.

REZENDE, M. O. S.; LIMA, M. A.; SANTOS, M. A. **Caracterização de resíduos gerados na indústria cervejeira e sua aplicação como fonte de nutrientes para plantas**. *Acta Scientiarum*. Technology, Maringá, v. 38, n. 2, p. 133-139, 2016. Disponível

em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/28435/pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.

- SANTIAGO, P. P. **Aproveitamento do bagaço de malte como fonte de bioativos utilizando solvente eutéctico profundo integrado a ultrassom**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.
- SANTOS, J. C. **Extração com fluido supercrítico e suas aplicações na obtenção de produtos naturais**. 2011. 40f. Trabalho de conclusão de curso (Faculdade de farmácia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/70133/000821942.pdf?sequence=1>. Acesso em: 3 dez. 2024.
- SCHMIDT, J. **Aproveitamento de resíduos da produção de cerveja: aplicação na produção de biogás**. 2020. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade do Vale do Taquari – Univates, Lajeado, 2020. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/76e7e224-3cf7-4394-ac6b-36b5928f2a4c/content>. Acesso em: 25 out. 2024.
- SILVA L. A. T., GHERARDI S. R. M. **Reaproveitamento de Resíduos Agroindustriais e Seu Potencial Benefício à Saúde**. 2023. Trabalho de conclusão de curso - Departamento de Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal Goiano Campus - Urutaí, IF.Goiano. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1kNDqLQjXjTu46zeNXY8nT2fPWLQrUMt4/view> acesso em: 26 jun. 2024.
- SILVA, M. M. C.; VALENTE, G. F. S.; COSTA JÚNIOR, L. F. **Extração de compostos fenólicos a partir de bagaço de malte de cervejaria**. 2014. IF Sudeste MG – Campus Barbacena. Acesso em: 15 jun. 2024.
- SINDISERV (Sindicato Nacional da Indústria Cervejeira). **Anuário da cerveja 2024**. Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/noticias/sindicerv-76-anos-uma-jornada-de-uniao-e-inovacao/>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- TESSARO, F. **Caracterização e aplicação de carvões ativados a partir de resíduos lignocelulósicos**. 2017. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2017. Disponível em: [https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11614/2/FB\\_COALM\\_2017\\_2\\_03.pdf](https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11614/2/FB_COALM_2017_2_03.pdf). Acesso: 15 nov. 2024.
- UM GOLE OU MAIS. **História da cerveja**. Disponível em: <https://www.umgoleoumais.com/historia-da-cerveja/>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. Disponível em: Minha Biblioteca, v. 1 (2nd edição). Editora Blucher, 2016. Acesso: 19 mai. 2024.
- VIEIRA, F. J. A., **Desenvolvimento de embalagem biodegradável ativa contendo extrato de bagaço de malte e sua aplicação em queijo tipo prato fatiado**. 2022. Dissertação. 79 f. Universidade Estadual de Ponta Grossa (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3827>. Acesso em: 1 dez. 2024.