

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Daniele Santos Corrêa



*UPCYCLED FOOD: UMA ABORDAGEM TÉCNICO-CIENTÍFICA
SOBRE A REUTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE*

RIO DE JANEIRO

2023

Daniele Santos Corrêa

*UPCYCLED FOOD: UMA ABORDAGEM TÉCNICO-CIENTÍFICA SOBRE A
REUTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE*

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Química da
Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de
Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. D.Sc. Bernardo Dias Ribeiro

Coorientadores: Prof. D.Sc. Ailton Cesar Lemes
M.Sc. Gabriella Neves Ricarte

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

C824u Corrêa, Daniele Santos
UPCYCLED FOOD: UMA ABORDAGEM TÉCNICO-CIENTÍFICA
SOBRE A REUTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE / Daniele
Santos Corrêa. -- Rio de Janeiro, 2023.
64 f.

Orientador: Bernardo Dias Ribeiro.
Coorientador: Ailton Cesar Lemes.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Química, Bacharel em Engenharia de Alimentos, 2023.

1. Alimentos funcionais. 2. Compostos bioativos
. 3. Reaproveitamento. 4. Subproduto
agroindustrial. I. Ribeiro, Bernardo Dias, orient.
II. Lemes, Ailton Cesar, coorient. III. Título.

Daniele Santos Corrêa

*UPCYCLED FOOD: UMA ABORDAGEM TÉCNICO-CIENTÍFICA SOBRE A
REUTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Química da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Engenheiro de
Alimentos.

Aprovado em 20 de dezembro de 2023.

Bernardo Dias Ribeiro, D.Sc., UFRJ

Ailton Cesar Lemes, D.Sc., UFRJ

Gabriella Neves Ricarte, M.Sc., UFRJ

Ricardo Schmitz Ongaratto, D.Sc., UFRJ

Caroline Alves Cayres, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro
2023

Dedico este trabalho à minha mãe Rosilene, a mulher mais guerreira, forte e batalhadora que eu conheço.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Rosilene, que sempre me apoiou, acreditou em mim e me manteve firme mesmo quando a vontade de desistir era enorme. Sempre foi a minha base, minha força, minha vontade de querer ser mais, minha maior inspiração; a mulher da minha vida.

À minha irmã Priscila, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando em cada período dessa graduação e aguentando cada desespero meu, sempre com muita paciência, compreensão e cumplicidade; *my person*. Ao meu pai drasto Marco, que trouxe leveza e alegria para minha vida e sempre me arrancou boas risadas. À minha avó Maria Tereza (*in memoriam*), que me acolheu com muito amor, carinho, cuidado e bom humor em sua casa; sempre com suas comidinhas maravilhosas e muitos mimos; *miss you*.

À minha família, que sempre me apoiou e teve paciência comigo quando eu me ausentava das reuniões por conta da graduação e sempre me deu muita força, em especial minha prima Letícia e minha madrinha Rosane. Ao meu pai Sergio que sempre acreditou que eu era capaz de conquistar muitas coisas na vida. Aos meus amigos e aos meus colegas de classe, que dividiram comigo material, conhecimento e desespero ao longo de todos esses anos de graduação, em especial minha amiga Isabela e seus pais Heloisa e Alexandre, que foram muito importantes nessa caminhada sempre dando força, suporte, carinho e afeto. A Julia, a Helena e a Vanessa que foram grandes amigas ao longo desses anos. Ao meu querido Adriano, por seus cuidados, sempre me ajudando no trajeto Casa-Fundão-Estágio-Fundão-Casa e me encorajando a escrever esse TCC. À minha antiga psicóloga Luzia, que foi essencial na minha trajetória acadêmica durante a pandemia.

Aos meus orientadores Bernardo, Ailton e Gabriella, pelas orientações em projetos anteriores, pelo suporte na escrita desse trabalho e pelos puxões de orelha que possibilitaram a finalização do mesmo. Ao grupo BIOSE por toda a troca e parceria ao longo dos meus 5 anos de iniciação científica. Aos colegas de universidade que compartilhavam caronas, perrengues e boas risadas. À UFRJ e a todos os professores que tive o privilégio de ter pelo caminho, pois com eles aprendi e evoluí muito ao longo desses anos, todos foram extremamente importantes na minha formação.

“We must keep our certainty that after the bad days the good times will come again.”

Marie Curie

RESUMO

CORRÊA, Daniele Santos. *Upcycled food: uma abordagem técnico-científica sobre a reutilização do bagaço de malte*. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A reutilização do bagaço de malte (BM) proveniente da produção de cerveja a partir de aplicações alternativas é uma prática sustentável que visa maximizar o valor desse subproduto até então comumente utilizado na produção de ração animal. A ideia de promover a reutilização dos subprodutos agroindustriais é denominada de “*upcycled food*”, com foco principal na criação de novos produtos e, conseqüentemente, na agregação de valor a esses materiais originados. Dentre as formas de “*upcycling*” do bagaço de malte, a primeira e mais utilizada é a produção de farinha, a qual pode ser aplicada na fabricação de alimentos, incluindo a produção de biscoitos, barras de cereais, massas, bolos e pães. Ademais, o BM contém diversos compostos que apresentam bioatividade, como polifenóis (como os taninos e os ácidos hidroxicinâmicos, ferúlico e p-cumárico), peptídeos bioativos e fibras alimentares solúveis, os quais são capazes de fornecer benefícios à saúde, especialmente na prevenção e combate às doenças, como as cardiovasculares, as neurodegenerativas e inflamatórias, devido às suas propriedades antioxidantes, antialérgicas, anti-inflamatórias e antimicrobianas; além de conter proteínas (~ 15 %) e fibras (~ 70 %), como a β -glucana, que apresenta atividade antimicrobiana, anti-hipertensiva, dentre outras. Assim, é possível reutilizar o subproduto bruto do BM como farinha ou isolar alguns de seus componentes de interesse. Com isso, o objetivo desse trabalho é apresentar estratégias de aplicação do BM produzido no processo cervejeiro no setor alimentício, evidenciando as alternativas para reaproveitamento do subproduto, assim como a obtenção de ingredientes alimentares sustentáveis, com valor agregado e propriedades tecnológicas aperfeiçoadas. Para isso foram analisadas, na literatura, técnicas de reaproveitamento integral do BM e técnicas de extração de alguns compostos como a β -glucana, compostos fenólicos e peptídeos bioativos. Por fim, foi visto que o BM é um subproduto com potencial de valorização ao ser reaproveitado, tanto como matéria-prima para fabricação de novos produtos alimentícios através da produção da farinha de BM como a partir da extração dos compostos analisados a serem aplicados a novos produtos. Essas práticas fornecem

benefícios econômicos e ambientais a partir da possibilidade de geração de fonte de renda, melhora na economia, criação de fluxos de receitas e geração oportunidades de negócios e de emprego e promoção da sustentabilidade, evitando o desperdício e agregando valor a novos produtos.

Palavras-chave: alimentos funcionais; compostos bioativos; reaproveitamento; subproduto agroindustrial.

ABSTRACT

CORRÊA, Daniele Santos. *Upcycled food: uma abordagem técnico-científica sobre a reutilização do bagaço de malte*. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Reusing brewer's spent grain (BSG) from beer production through alternative applications is a sustainable practice that aims to maximize the value of this by-product, which has been commonly used in animal feed production until now. The idea of promoting the reuse of agro-industrial by-products is called "upcycled food," with the main focus on creating new products and, consequently, adding value to these materials. Among the ways of upcycling BSG, the first and most widely used is the production of flour, which can be applied in food manufacturing, including the production of cookies, cereal bars, pasta, cakes, and bread. In addition, BSG contains various bioactive compounds, such as polyphenols (as tannins and hydroxycinnamic, ferulic and p-coumaric acids), bioactive peptides and insoluble dietary fibers, which are capable of providing health benefits, especially in the prevention and fight against diseases such as cardiovascular, neurodegenerative and inflammatory diseases, due to their antioxidant, anti-allergic, anti-inflammatory and antimicrobial properties; in addition to containing proteins (~15%) and fibers (~70%), such as β -glucan, which has antimicrobial activity, antihypertensive activity, among others. Thus, it is possible to reuse the raw BSG by-product as flour or isolate some of its components of interest. Therefore, this work aims to present strategies for applying BSG produced in the brewing process in the food sector, highlighting alternatives for reusing the by-product and obtaining sustainable food ingredients with added value and improved technological properties. To this end, techniques for the complete reuse of BSG and extraction techniques for some compounds, such as β -glucan, phenolic compounds, and bioactive peptides, were analyzed in the literature. Finally, it was seen that BSG is a by-product with potential for valorization when reused, both as a raw material for the manufacture of new food products through the production of BSG flour and from the extraction of the analyzed compounds to be applied to new products. These practices provide economic and environmental benefits from generating income, improving the economy, creating revenue streams, creating

business and employment opportunities, promoting sustainability, avoiding waste, and adding value to new products.

Keywords: functional foods; bioactive compounds; reuse; agro-industrial by-product.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Fluxograma simplificado do processo de produção de cerveja e obtenção do bagaço de malte
- Figura 2 - Diagrama de blocos simplificado das fases do tratamento da água
- Figura 3 - Representação das técnicas de conservação do BM
- Figura 4 - Fontes de β -glucana, suas estruturas moleculares e propriedades
- Figura 5 - Demonstração da transferência de massa que ocorre no BM
- Figura 6 - Tambor rotativo
- Figura 7 - Moedor de farinha para trigo
- Figura 8 - Sistema com peneiras e fundo acoplados a um agitador mecânico
- Figura 9 - Diagrama de blocos de métodos de extração de β -glucana
- Figura 10 - Diagrama de blocos da obtenção da farinha de BM
- Figura 11 - Diagrama de blocos da extração da β -glucana
- Figura 12 - Diagrama de blocos da extração de compostos fenólicos
- Figura 13 - Diagrama de blocos da extração de peptídeos bioativos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Influência dos ânions nas características sensoriais da cerveja

Tabela 2 - Composição do lúpulo em base seca

Tabela 3 - Composição da levedura em base seca

Tabela 4 - Composição química do bagaço de malte em base seca

Tabela 5 - Minerais e vitaminas presentes no bagaço de malte

Tabela 6 - Propriedades da farinha de bagaço de malte na produção de alimentos

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Categorias geradoras de resíduos industriais

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BM	Bagaço de Malte
BSG	<i>Brewer's spent grain</i>
CervBrasil	Associação Brasileira da Indústria da Cerveja
IBU	<i>International Bitterness Units</i>
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
Sindicerv	Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE SÍMBOLOS

J_A	Fluxo mássico ($\text{Kmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$)
D_{AB}	Coefficiente de difusão ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)
$\frac{dc_A}{dx}$	Gradiente de concentração (-)
T_i	Temperatura interna (K)
T_∞	Temperatura externa (K)
q_{cond}	Fluxo de calor por condução (W)
q_{conv}	Fluxo de calor por convecção (W)
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)
P_{vap}	Pressão de vapor (Pa)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 <i>UPCYCLING</i> DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	21
2.2 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NA VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS	23
2.3 CERVEJA	24
2.3.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES	24
2.3.2 PRODUÇÃO CERVEJEIRA	26
2.3.3 ÁGUA	29
2.3.4 MALTE	31
2.3.5 LÚPULO	32
2.3.6 LEVEDURA.....	33
2.4 BAGAÇO DE MALTE	34
2.4.1 OBTENÇÃO, CONCEITUAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO.....	34
2.4.2 MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO.....	36
3 METODOLOGIA DO ESTUDO	38
4 RESULTADOS DO ESTUDO.....	39
4.1 ESTUDOS SOBRE ISOLAMENTO E REUTILIZAÇÃO INTEGRAL E DE COMPONENTES DO BM: ANÁLISE TECNOLÓGICA E APLICAÇÕES EM ALIMENTOS.....	39
4.2 ESTUDO MERCADOLÓGICO DO BM.....	47
4.2.1 MERCADO NACIONAL	47
4.2.2 MERCADO INTERNACIONAL.....	48
4.3 SUGESTÕES DE MÉTODOS DE REAPROVEITAMENTO INTEGRAL DO BM E EXTRAÇÃO DE B-GLUCANA, COMPOSTOS FENÓLICOS E PEPTÍDEOS BIOATIVOS	49
5 CONCLUSÕES.....	52
6 REFERÊNCIAS	53

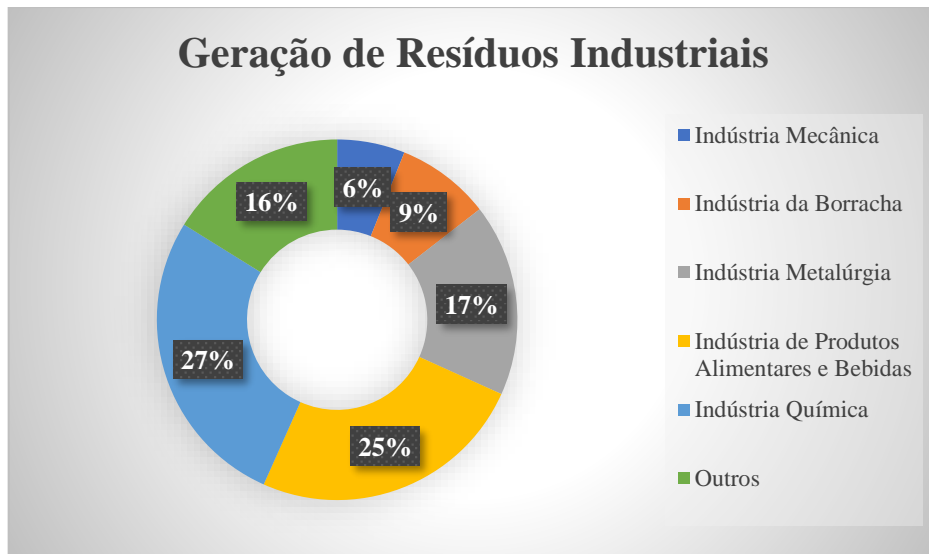
1 INTRODUÇÃO

Durante a fabricação de cerveja são gerados diversos subprodutos, como por exemplo, a levedura na proporção de 1,7 a 2,3 g.L⁻¹, o bagaço de malte em torno de 140-200 g.L⁻¹ e o “trub” quente na proporção de 1 a 4 g.L⁻¹ (MARSON *et al.*, 2020). O trub é dividido em trub quente e trub frio, sendo o trub quente formado pela precipitação das proteínas coaguladas durante o processo de fervura do mosto; e o trub frio formado a partir de uma redução da temperatura do mosto e de uma reação que ocorre entre os polifenóis e produtos de decomposição das proteínas de alto peso molecular (SENAI, 2004).

Dentre os subprodutos gerados, o BM representa 85% do total dos subprodutos gerados na indústria cervejeira (LIMA, 2010; LYNCH, 2016; FRANCISKI *et al.*, 2018; VIEIRA, 2021), sendo considerado o principal desse processo de fabricação. Estima-se que a cada 100 kg de malte de cevada utilizado no processo de produção de cerveja sejam obtidos em torno de 125 kg de BM úmido, apresentando cerca de 80 % de umidade. Assim, calcula-se que para cada 100 L de cerveja produzida sejam gerados, aproximadamente, 20 kg de BM seco (LIMA, 2010; FRANCISKI *et al.*, 2018). Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CervBrasil) (2023), considerando uma produção anual de 14,1 bilhões de litros de cerveja, chega-se à marca de 2,82 milhões de tonelada de BM. Dessa forma, é essencial o reaproveitamento eficiente do BM, destinando-o não apenas a ração animal, como ocorre normalmente (VIEIRA 2021; ALMEIDA; CARVALHO; OLIVATO, 2022), mas também como opção de extração de componentes de alto valor agregado, ou ainda, como ingrediente para a alimentação humana.

Além disso, considerando a geração de subprodutos, segundo dados apresentados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2022), é possível verificar que as indústrias de produtos alimentícios e bebidas, juntamente com as indústrias químicas, são as que mais se destacam na geração de resíduos por metro cúbico no Brasil, como pode ser visto no Gráfico 1 abaixo em que o valor total de resíduos gerados é de 490.650,91 m³.

Gráfico 1 - Categorias geradoras de resíduos industriais.



Fonte: Adaptado de Brasil (2022)

Ressalta-se que no gráfico apresentado, utiliza-se o termo “resíduo” e não “subproduto” por se tratar de todos os materiais gerados em diversas indústrias brasileiras, em que o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2022) não os caracteriza como “subproduto”.

Logo, ressalta-se a relevância do impacto ambiental, pois os resíduos alimentícios causam grande poluição no solo e na água devido ao chorume, além de poderem ocasionar a proliferação de insetos ou outros vetores de doenças (EMBRAPA, 2017) e a geração de odores ambientais. Ademais, é estimado que os resíduos de alimentos descartados em todo o mundo são responsáveis pela emissão global de aproximadamente 8 a 10 % dos gases que favorecem o efeito estufa (UNEP, 2021; ASCHEMANN-WITZEL *et al.*, 2023), equivalente a uma emissão anual maior que qualquer país no mundo, à exceção de China e Estados Unidos (EDGAR, 2021).

Além disso, de acordo com dados do Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (Sindicerv) (2016), o Brasil é considerado o terceiro maior produtor mundial de cerveja, perdendo apenas para a China e EUA e, conseqüentemente, é responsável por gerar elevada quantidade de BM, sendo imprescindível estudar a requalificação desse subproduto.

A partir dessas considerações, é importante que se tente adotar o conceito de *upcycled food*, o qual é derivado do termo “*upcycling*”, que consiste na reutilização de subprodutos que seriam descartados, a fim de agregar valor a novos produtos (VIEIRA, 2021). Assim, é possível reduzir a quantidade de material descartado inadequadamente, proporcionando menor impacto

ambiental, maior eficiência na utilização de materiais e maior valor agregado a material que seria descartado.

Atualmente, a principal forma de reutilização do BM é na produção de ração animal (LIMA, 2010; VIEIRA 2021; ALMEIDA; CARVALHO; OLIVATO, 2022), porém do ponto de vista da economia circular, o BM após ser processado corretamente constitui grande fonte de proteínas e fibras, em torno de, respectivamente, 15 % e 70 % em base seca (MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006; LIMA, 2010). Sendo assim, devido à sua composição e quantidade de material produzido, tem potencial para ser utilizado na produção de barras de cereais, massas, pães e biscoitos (ŠARIĆ, 2019), por exemplo. É importante destacar que, devido à sua composição, especialmente sua elevada concentração de fibras, deve-se avaliar a sua aplicação, pois os componentes podem impactar sua aplicação na matriz do alimento, como acontece com as fibras que influenciam a ligação da rede do glúten, alterando a qualidade dos produtos (LI *et al.*, 2024).

Além disso, contém diversos compostos, como os peptídeos bioativos, que podem apresentar potenciais atividades antioxidantes, imunomoduladoras, antimicrobianas entre outras, de acordo com as características e propriedades da cadeia desses peptídeos (VIEIRA, 2021). Esses compostos podem ser isolados a partir de processos adequados, microencapsulados e, então, aplicados na formulação de suplementos nutricionais (GARZÓN *et al.*, 2022).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho é apresentar estratégias de aplicação do BM em diversas áreas do ramo alimentício, não se limitando somente ao aproveitamento do subproduto como ingrediente para a produção de alimentos, como também a apresentação/descrição/enumeração de processos de extração de seus compostos químicos e seus respectivos empregos industriais, destacando os benefícios econômicos e ambientais gerados por meio da adoção de práticas sustentáveis.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: O item 1 é destinado a contextualização e ao objetivo do estudo; o item 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o *upcycling* da indústria de alimentos, as principais tecnologias envolvidas na valorização de subprodutos agroindustriais, a cerveja, a produção cervejeira, conceituação e caracterização do BM e métodos de conservação do BM e; o item 3 refere-se à metodologia do estudo, contendo a análise tecnológica dos processos e aplicações do BM em alimentos, além de estudos sobre o isolamento de componentes do BM e a reutilização do subproduto integral. Adicionalmente, apresenta o estudo mercadológico do BM a nível nacional e internacional de produção desse

subproduto; o item 4 contém a análise de resultados desses estudos; por fim, o item 5 apresenta as conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *UPCYCLING* DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Nas últimas décadas a preocupação com o meio ambiente tem aumentado consideravelmente, fazendo com que se busquem novas formas de reaproveitamento de subprodutos das indústrias de alimentos e bebidas (VIEIRA, 2021). Assim, quando se tem subprodutos ricos em nutrientes, seu uso pode ser destinado à fabricação de novos produtos com alto valor agregado (MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006; LIMA, 2010; VIEIRA, 2021).

A partir dessas considerações, surge um conceito atual e importante: *upcycled food*, derivado do termo “*upcycling*”, que consiste na reutilização de subprodutos que seriam utilizados em fins menos nobres, como a alimentação animal, a fim de agregar valor a novos produtos (VIEIRA, 2021). Com isso, é possível reduzir o impacto ambiental, promover uma maior eficiência na utilização de materiais e gerar lucro com material que seria descartado.

Ademais, sabe-se que diariamente são geradas grandes quantidades de subprodutos de origem vegetal e animal provenientes do processamento de alimentos e bebidas, como leite, carne, cerveja, frutas e hortaliças, entre outros produtos. Esses subprodutos alimentares gerados são compostos, por exemplo, por cascas, sementes, raízes, bagaço e soro de leite (JUSTINO *et al.*, 2022). Assim, pensando em promover a valorização desses subprodutos e reincorporá-los à cadeia de abastecimento alimentar, fortalecendo a bioeconomia circular e gerando oportunidades de negócios e de emprego, pode-se reaproveitá-los a partir do desenvolvimento de novos ingredientes alimentares ou produtos para consumo humano (GÓMEZ-GARCÍA *et al.*, 2021).

Destaca-se, portanto, na indústria, por meio do avanço tecnológico e social com foco em benefícios ambientais e econômicos, a possibilidade de utilizar subprodutos como matéria-prima em outro processo produtivo. Essa abordagem tem o potencial de evitar ou reduzir danos ambientais, promovendo, assim, a sustentabilidade dos negócios (BAZAN, 2021).

A ideia de *upcycled food* introduz um conceito extremamente importante da economia circular, a reciclagem, o “fechamento de ciclo da cadeia produtiva” nas principais indústrias, incluindo o setor alimentar e agrícola. Além disso, está de acordo com uma tendência de “comportamento verde” do consumidor (ASCHEMANN-WITZEL *et al.*, 2023).

Dessa forma, a utilização de subprodutos com elevado teor nutritivo, pode ser uma boa alternativa para alimentação humana, sendo possível seu reaproveitamento por indústrias do setor alimentício através da Simbiose Industrial, que como descrita no trabalho de Bazan *et al.*

(2021) é a cooperação de diferentes indústrias, geograficamente próximas umas das outras, para a troca de materiais, energia, água e subprodutos.

Alguns exemplos de *upcycled food* são ketchup ou compotas feitos a partir de frutas e legumes excedentes ou subaproveitados, pão envelhecido ou próximo a data de vencimento sendo reprocessado e utilizado na fabricação de cerveja, o excesso de comida do balcão do supermercado ou da cantina sendo reaproveitado na elaboração de novos produtos, como sopas e caldos, ou o subproduto resultante da prensagem de sementes de girassol para extração de óleo de girassol e o bagaço de malte, subproduto proveniente da indústria cervejeira, que podem ser processados e transformados em farinha em vez de serem utilizados como ração animal (ASCHEMANN-WITZEL *et al.*, 2023).

Existem exemplos na literatura como Grasso *et al.* (2021), que desenvolveram muffins feitos com farinha de girassol, que é um subproduto da indústria do óleo de girassol, denominado “farinha de girassol *upcycled*”. Nesse estudo, avaliaram os efeitos da adição dessa farinha na composição final do produto, bem como a atividade antioxidante do mesmo, comprovando que esse material *upcycled* pode ser utilizado para a melhoria nutricional do muffin.

Além disso, segundo estudos de Holt *et al.* (2022), o bagaço de uva proveniente da produção de vinho Chardonnay representa um modelo altamente qualificado para o desenvolvimento de novos ingredientes *upcycled*, capazes de proporcionar uma combinação de benefícios de saúde e sensoriais.

No estudo de revisão feito por Chetrariu e Dabija (2023) alegou-se que, devido às suas propriedades funcionais, o BM pode ser usado como matéria-prima em diversos produtos alimentares, como massas, salsichas ou bebidas. Nesse trabalho foi utilizado o termo “*upcycling*”, reforçando a ideia de valorização desse subproduto.

Entretanto, existem custos associados à recuperação destes subprodutos, que posteriormente serão utilizados como ingredientes *upcycled*. Estudos de Peschel e Aschemann-Witzel (2020), apontam que comunicar de forma transparente sobre estes custos parece reduzir a percepção negativa do consumidor, embora não pareça aumentar a escolha. Porém, se além dos custos fossem divulgados de modo mais atrativo todos os benefícios do *upcycling* destes ingredientes, a resposta do consumidor poderia ser diferente (PESCHEL; ASCHEMANN-WITZEL, 2020).

Por fim, ressalta-se que estes alimentos reaproveitados não eliminam a utilização de recursos, como a água, a energia, o material de embalagem, o transporte e o armazenamento, já usados na produção dos alimentos, além de acrescentarem a utilização de mais recursos devido

ao processo de reaproveitamento. Porém, evitam a perda e o desperdício dos ingredientes, os recursos que seriam utilizados no descarte dos mesmos e garante que os alimentos sejam fornecidos, de fato, como alimentos (ASCHEMANN-WITZEL *et al.*, 2023).

2.2 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NA VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS

Diversos subprodutos agroindustriais contêm compostos de elevado valor nutricional, como fibras, proteínas, óleos essenciais e compostos bioativos, por exemplo, os compostos fenólicos (SARAIVA *et al.*, 2018) e peptídeos bioativos (VIEIRA, 2021; GARZÓN *et al.*, 2022).

As técnicas para isolar esses compostos, podem ser realizadas por meio de tecnologias de extração, como a extração com solventes eutéticos, extração com solventes convencionais combinada à ultrassom, extrações enzimáticas e hidrólise alcalina. Porém, essas extrações requerem recuperação dos solventes utilizados no preparo dos extratos (MARTINS *et al.*, 2023).

A produção de solventes eutéticos ocorre a partir da mistura de sais de amônio quaternário e sais de íons metálicos, formando um solvente líquido em temperatura ambiente. A extração com esses solventes eutéticos fortalece a ideia de uma química mais ambientalmente compatível, pois esses solventes são classificados como “verdes”, uma vez que são biodegradáveis e sustentáveis, sendo estes alguns dos princípios da extração verde (BEZERRA, 2020).

A extração por meio de solventes combinada à ultrassom faz com que seja utilizada uma menor quantidade de solventes já que o ultrassom otimiza o processo, podendo modificar a estrutura das proteínas, quebrando ligações moleculares, como ligações de hidrogênio, através do efeito de cavitação. Essas modificações podem melhorar as características de solubilidade, gelificação, emulsão e formação de espuma das proteínas, além da possibilidade de aumentar a hidrólise enzimática de proteínas (ASSUMPCÃO, 2023).

Na extração enzimática, tem-se o uso de enzimas de modo a facilitar o processo de extração de alguns compostos, como a proteína. Já a hidrólise alcalina ocorre por via química, em que o processo se dá a partir da solubilização das proteínas em pH alcalino, resultando na precipitação destas no seu ponto isoelétrico (VIEIRA, 2021).

Em alguns trabalhos é possível exemplificar essas técnicas. Por exemplo, para isolar os compostos fenólicos, podem ser utilizadas tecnologias de extração, como a extração com solventes combinada à ultrassom, realizadas no trabalho de Melo *et al.* (2011) e de Fontana e

Marciano (2023). O primeiro trabalho realizou a extração com etanol 80% e com água para a obtenção de compostos fenólicos presentes em bagaço de uva e de goiaba, verificando maior eficiência do etanol na extração desses compostos. O segundo trabalho realizou a extração de compostos bioativos presentes no resíduo agroindustrial da polpa de morango utilizando um solvente eutético natural. Esse solvente eutético é composto por cloreto de colina e ácido láctico; neste trabalho verificou-se que o solvente eutético foi capaz de extrair maiores quantidades de compostos antioxidantes e flavonoides, quando comparado à água e ao etanol.

Ressalta-se que após a extração é importante considerar a instabilidade que alguns compostos bioativos como os polifenóis apresentam, o que pode impactar sua atividade antioxidante, por exemplo. Assim, são estudados métodos, como a microencapsulação, para proteger esses compostos a fim de evitar sua degradação (MICHEL *et al.*, 2023). No trabalho de Rezende (2016), após a extração de compostos bioativos (como antocianinas, carotenóides, compostos fenólicos e flavonoides) provenientes da polpa e resíduo agroindustrial de acerola utilizando solvente e ultrassom, é realizada a microencapsulação por processos de atomização e liofilização. Neste estudo foi observado que as microcápsulas geradas por processo de atomização foram responsáveis por maior retenção dos compostos bioativos.

Demonstra-se no trabalho de Azabou *et al.* (2016) uma técnica de extração enzimática, em que o extrato bruto de enzimas produzido pela fermentação em estado sólido de *F. solani pisi* em subprodutos do processamento de tomate é um método capaz de melhorar a extração de licopeno.

2.3 CERVEJA

2.3.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES

De acordo com o Decreto nº 9.902, de 8 de julho de 2019, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994 e apresenta modificações relevantes ao anterior (Decreto nº 6.871/2009), “Cerveja é 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.”. Além disso, esse Decreto acrescenta a informação de que “A cerveja poderá ser adicionada de ingrediente de origem vegetal, de ingrediente de origem animal, de coadjuvante de tecnologia e de aditivo a serem regulamentados em atos específicos.” (BRASIL, 2019).

A classificação mais geral do estilo da cerveja é por tipo de levedura, separando-a em dois grupos, sendo estes: Ale e Lager. Assim, caso seja utilizada uma levedura de alta fermentação (como a *Saccharomyces cerevisiae*), a cerveja será denominada Ale, se for utilizada uma levedura de baixa fermentação (como a *Saccharomyces pastorianus*), tem-se uma Lager. As cervejas tipo Ale, apresentam processo fermentativo na parte superior, no topo, do equipamento e é realizado a uma temperatura entre 15 e 24 °C. Cervejas desse tipo apresentam sabor e aroma bastante característicos e é considerada uma cerveja mais encorpada. As cervejas tipo Lager são produzidas em temperaturas inferiores, entre de 8 e 12 °C. Cervejas desse tipo apresentam aroma e sabor mais leves e um menor teor alcoólico (BJCP, 2021; VIEIRA, 2021). Além disso, os dois tipos apresentam IBU (*International Bitterness Units*) diferentes, que traduzindo significa “Unidade Internacional de Amargor” e quanto maior o IBU, mais amarga é considerada a cerveja. As cervejas do tipo Ale tendem a apresentar um IBU de moderado a alto, variando normalmente de 30 a 100 IBUs, porém, podendo chegar a valores mais altos. As cervejas do tipo Lager costumam apresentar um IBU de baixo a moderado, variando, normalmente, de 10 a 30 IBUs (ALMADA NETO, 2019; BJCP, 2021).

Outra forma de classificar a cerveja seria diferenciá-la de acordo com a sua escala de produção, que seria de uma cervejaria artesanal e não artesanal, também denominada de cervejaria “normal” ou “industrial”. Ressalta-se que as cervejas artesanais são caracterizadas por apresentarem diferenciação na sua produção quando comparadas às cervejas industriais (CARVALHO, 2022). Enquanto as cervejarias industriais tendem focar na produção, em larga escala, de estilos mais comuns e populares, as cervejarias artesanais fornecem uma variedade de opções. Segundo Carvalho (2015), a elaboração de cervejas artesanais foca principalmente na qualidade do produto, considerando a qualidade dos ingredientes utilizados na sua formulação, resultando na produção de diversos tipos de cerveja capazes de apresentar variados sabores e aromas.

Não há uma definição oficial para “cerveja artesanal” descrita pelo Ministério da Agricultura e Pecuária; além disso, ressalta-se que essa definição pode variar dependendo do país. Assim, diversas associações de cervejeiros ao redor do mundo apresentam diferentes definições de cerveja artesanal (VILLACRECES; BLANCO; CABALLERO, 2022). Porém, acredita-se que a definição mais comum e aplicada seja a descrita pela Brewers Association (2022), definindo a cervejaria artesanal como uma cervejaria pequena e independente, em que o termo “pequeno” refere-se a uma cervejaria cuja a produção anual de cerveja é de até 6 milhões de barris, o que corresponde a aproximadamente 3% das vendas anuais dos Estados Unidos; e o termo “independente” significa que menos de 25% da cervejaria artesanal pode

pertencer ou ser controlada por alguém que seja da indústria de bebidas alcoólicas e que não seja esse indivíduo um cervejeiro artesanal.

2.3.2 PRODUÇÃO CERVEJEIRA

Para a produção de cerveja, basicamente são utilizados os seguintes ingredientes: água, malte, lúpulo e a levedura (KUNZE, 2004). O processo de produção da cerveja engloba a extração e hidrólise do carboidrato presente no malte para obter uma solução de açúcar, denominada “mosto”. Os carboidratos presentes no mosto constituem em torno de 90–92% dos sólidos dessa solução. O mosto contém açúcares fermentescíveis como, por exemplo, a frutose, glicose, maltose e maltotriose. O primeiro açúcar a ser consumido no processo fermentativo é a glicose, em seguida, a frutose e a maltose e, por fim, a maltotriose. (WILLAERT, 2012).

Dessa forma, o mosto apresenta nutrientes essenciais para o metabolismo celular e, então, são utilizados como fonte de nutrientes para o crescimento da levedura. Ao longo desse processo ocorre fermentação pela levedura, em que os açúcares simples são consumidos, liberando calor e produzindo etanol além de outros subprodutos metabólicos aromatizantes (WILLAERT, 2012).

Destaca-se que as principais mudanças biológicas que ocorrem no processo de fabricação de cerveja são realizadas e catalisadas por enzimas produzidas naturalmente a partir do malte (durante o processo de malteação) e pela levedura. O restante do processo de fabricação de cerveja engloba troca de calor, separação e clarificação, produzindo somente pequenas alterações na composição química quando comparado às reações catalisadas por enzimas. O próprio malte, quando processado adequadamente, apresenta as enzimas necessárias para degradar amido, β -glucano, pentosanos, lipídios e proteínas, que são os principais compostos de interesse para do processo de produção cervejeira (WILLAERT, 2012). Uma visão geral do processo de fabricação de cerveja é representada na Figura 1.

Inicialmente, para a produção da cerveja é necessário que seja realizado o processo de malteação, que é a germinação controlada dos grãos de cevada. Ao longo desse processo são geradas enzimas e as reservas do grão (amido) são modificadas, a fim de serem hidrolisadas na sala de brassagem. Ressalta-se que o malte não pode e nem deve ser utilizado diretamente para a produção de cerveja, pois os componentes do endosperma do grão não são solúveis e inicialmente não há presença de enzimas importantes para realização do processo (SENAI, 2004).

O processo de malteação pode ser dividido, basicamente, em três etapas: A primeira consiste em imergir a cevada em água para a absorção de umidade; em seguida, a cevada é

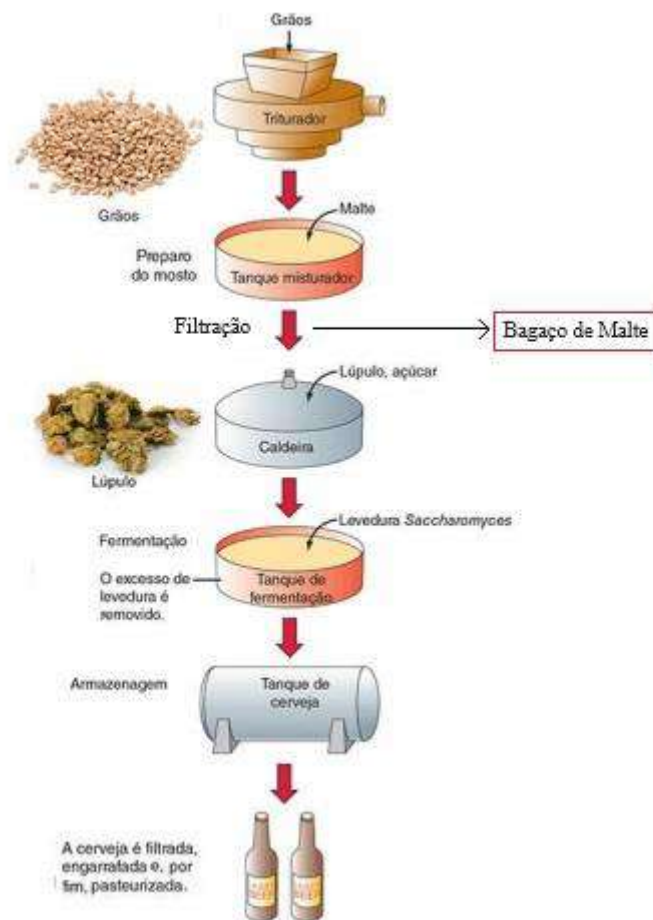
germinada, sob condições controladas; e, por fim, a cevada germinada passa por um processo de secagem a fim de interromper o seu crescimento (SENAI, 2004).

Após a malteação, realiza-se a moagem dos grãos malteados a fim de romper sua estrutura e expor o amido presente no endosperma. Em seguida, adiciona-se água e a mistura é aquecida de 37 °C a 78 °C, para auxiliar na ação das enzimas na degradação de amido em açúcares menores, e também na degradação de proteínas e fibras (LIMA, 2010; BLACK; BLACK, 2021; VIEIRA, 2021). Durante essa etapa tem-se a conversão do malte em açúcares fermentescíveis e não fermentescíveis e as proteínas tendem a ser degradadas em frações menores, como polipeptídios e aminoácidos. Ao final desse estágio de conversão enzimática (mosturação) tem-se uma mistura líquida com grande quantidade de açúcares que é chamada de mosto (LIMA, 2010).

A mosturação é responsável pela formação de uma solução, denominada mosto, a partir da dissolução de grande parte das gomas, hemiceluloses e de parte das proteínas solubilizadas durante o processo anterior (malteação). Além disso, essa etapa visa processar substâncias de alto peso molecular ainda insolúveis, como é o caso do amido, parte das proteínas e da hemicelulose. Esse processamento ocorre com o auxílio de enzimas que causam a decomposição dessas substâncias fazendo com que se tornem solúveis em água (SENAI, 2004).

Assim, tem-se que o processo de produção da cerveja pode variar em diversos aspectos, como no binômio tempo x temperatura, estrutura da cervejaria e/ou ingredientes e aditivos utilizados (VIEIRA, 2021). Todavia, existem operações unitárias essenciais que devem ser realizadas (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma simplificado do processo de produção de cerveja e obtenção do bagaço de malte



Fonte: Adaptado de Black e Black (2021)

Durante o processo de mosturação tem-se em torno de 35% das proteínas do malte solubilizadas. Após esse processo é realizada uma primeira filtração, a fim de separar a fração sólida, composta pelo bagaço de malte, da fração líquida, que é a base para a produção da cerveja, denominada de mosto (LIMA, 2010; VIEIRA, 2021). Assim, o BM é obtido conforme indicado na Figura 1.

Apesar da produção cervejeira gerar o BM, é importante ressaltar que é desafiante acessar todo o BM produzido no setor cervejeiro para fins de reaproveitamento, haja vista que é um setor muito heterogêneo, comportando produções artesanais a industriais. Então para sua obtenção integral, é necessário o contato direto com a produtora cervejeira para que seja possível obter este subproduto.

2.3.3 ÁGUA

A água, quantitativamente, é a principal matéria-prima utilizada na produção cervejeira, considerando tanto seu uso direto na cerveja quanto na limpeza, enxágue e outros fins. O fornecimento de água potável, bem como seu preparo são essenciais para o cervejeiro, pois a qualidade da água usada afeta diretamente a qualidade da cerveja produzida (KUNZE, 2004; SENAI, 2004).

Conforme descrito e estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) (2019) como padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria, para a produção de cerveja é obrigatório o uso de água potável. Devido ao aumento dos custos de obtenção de água doce e redução ou eliminação de águas residuais, além da escassez de água em algumas regiões, faz-se necessário que as cervejarias minimizem o seu consumo de água (KUNZE, 2004).

O procedimento de reciclagem de água de processo deve fornecer um tratamento que resulta em uma água de “qualidade potável”, cumprindo todos os requisitos de valores-limite microbiológicos e físico-químicos estabelecidos (KUNGE, 2004; SENAI, 2004). De acordo com a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, que trata dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, a água potável deve atender ao padrão de potabilidade estabelecido no Anexo descrito e não pode oferecer riscos à saúde (BRASIL, 2021).

Falando sobre a qualidade e composição, na água tem-se sais dissolvidos, porém, como estão extremamente diluídos, estão presentes quase que exclusivamente na forma de íons dissociados. A maioria desses íons não reage com os componentes do malte quando entram em contato pela primeira vez (durante a mosturação), passando inalterados para a cerveja, porém alguns reagem com certos componentes do malte (KUNGE, 2004).

Quando os sais dissolvidos estão presentes em grandes quantidades são capazes de afetar o sabor da cerveja de forma benéfica ou não. Na Tabela 1 é possível verificar a influência de alguns ânions nas características sensoriais da cerveja:

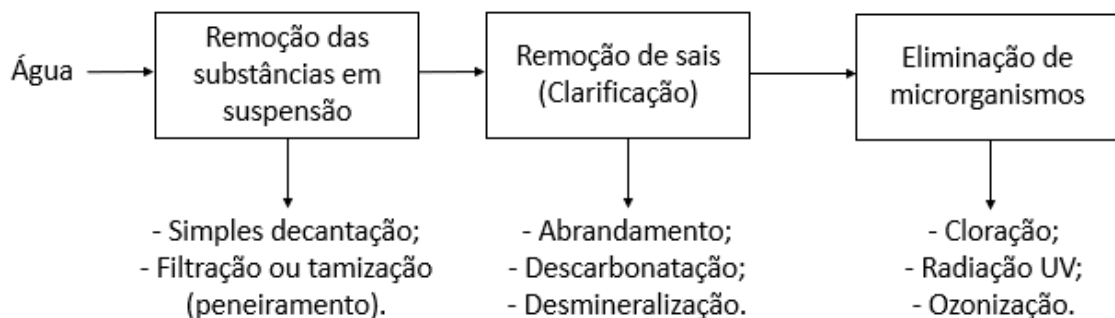
Tabela 1 - Influência dos ânions nas características sensoriais da cerveja.

ÂNION	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Intensidade do amargor	O mais fino	Um pouco mais	O mais intenso
Volatilidade do amargor	Volátil	intenso	Residual
Qualidade do amargor	Agradável	Volátil	Agradável
Corpo	Mais	Agradável	Pouco
Sensibilidade na degustação	encorpado Suave	Pouco encorpado Forte	encorpado Forte

Fonte: Adaptado de Senai (2004)

A quantidade e a qualidade dos sais dissolvidos influenciam nos processos químicos e enzimáticos envolvidos na produção cervejeira, refletindo diretamente na qualidade da cerveja fabricada. Ademais, composição química da cerveja depende do tipo de cerveja que se deseja produzir, por exemplo, a água pobre em sais é ideal para cervejas do tipo Pilsen, por outro lado, não é adequada para outros tipos. Dessa forma, o tratamento e a correção da água nas cervejarias devem estar de acordo com as particularidades da cerveja que se deseja produzir (SENAI, 2004).

Considerando todos os fatores citados acima, é imprescindível a realização do tratamento da água a ser utilizada no processo cervejeiro. Na Figura 2 tem-se a simplificação dos tratamentos a serem realizados.

Figura 2 - Diagrama de blocos simplificado das fases do tratamento da água

Fonte: Adaptado de Senai (2004)

2.3.4 MALTE

O malte é o produto resultante do processo de maltagem ou malteação de cereais, principalmente de cevada, em que sua germinação é realizada sob condições controladas de umidade, agitação e temperatura, capazes de garantir a produção máxima de enzimas a fim de hidrolisar o amido da semente. Ele pode ser amplamente utilizado como matéria-prima nas indústrias farmacêutica, química, de alimentos e de bebidas alcoólicas fermentadas e destiladas (LIMA, 2010).

Primeiramente, ressalta-se a importância da limpeza prévia dos grãos de cevada, que devem ter quaisquer impurezas removidas e devem ser classificados. Essas primeiras etapas podem ocorrer, por exemplo, com o uso de ciclones, filtros de poeira e peneiras. A classificação é realizada de acordo com o tamanho do grão, divididos em grandes (2,4 mm), médios (2,0-2,4 mm) e pequenos (menores que 2,0 mm) (LIMA, 2010).

Em seguida tem-se a obtenção do malte a partir do grão de cevada que envolve três etapas: maceração, germinação e secagem. A cevada comumente apresenta um teor de umidade de cerca de 12-14% quando chega à maltaria, assim, a etapa de maceração tende a aumentar o nível de umidade até que fique em torno de 42-48%. Esta primeira etapa consiste na imersão do grão em água potável sob condições controladas de temperatura, com a finalidade de inchar os grânulos de amido, solubilizar os sais presentes, romper a dormência do germe (embrião) e favorecer a ação de enzimas. Ao longo da imersão, os grãos de cevada continuam a absorver água e seu metabolismo aumenta, então é necessário fornecer oxigênio no tanque de maceração (LIMA, 2010; MALLETT, 2014). A etapa de germinação é iniciada com o rompimento da dormência do germe, em que seu metabolismo aumenta estimulando a atividade enzimática e hormonal, causando seu brotamento. As giberelinas, ou ácidos giberélicos, são hormônios vegetais que auxiliam nessa germinação (LIMA, 2010). Por fim, tem-se a etapa de secagem sob condições controladas com o objetivo de remover a umidade do grão a fim de evitar que ocorra sua deterioração. Além da remoção de umidade, se for do interesse do produtor, o malte pode passar pelo processo de torrefação, que desencadeia a reação de Maillard, caracterizada pela interação entre aminoácidos e açúcares em temperaturas elevadas. Como resultado, é possível uma grande variedade de cor, aroma e sabor, a depender do grau de torrefação empregado (LIMA, 2010; MALLETT, 2014).

Assim, o processo de malteação é guiado de acordo com a preferência do cervejeiro, considerando que o malte fornece diversos atributos essenciais que definem a cerveja, incluindo cor, sabor, corpo e, através da fermentação, álcool (MALLETT, 2014). Além disso, para analisar

a qualidade da fermentação é de suma importância avaliar o teor de β -glucanas, a viscosidade e a dureza do malte, o teor de aminoácidos no extrato e a relação entre nitrogênio total e solúvel, pois estes são fatores que podem influenciar diretamente no processo de fermentação (LIMA, 2010).

2.3.5 LÚPULO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é pertencente à família *Cannabaceae* e pode ser classificado como uma trepadeira perene e dióica (espécies em que gametas femininos e masculinos estão separados em diferentes indivíduos). Nas cervejarias são utilizadas as inflorescências da planta feminina, pois essas contêm resinas amargas e óleos que são responsáveis pelo fornecimento de componentes que caracterizam o amargor e o aroma da cerveja (KUNZE, 2004).

O lúpulo é cultivado em regiões especiais em que são fornecidas as condições de crescimento necessárias. A colheita do lúpulo consiste em soltar os ramos do lúpulo dos fios de sustentação e colher as inflorescências femininas que apresentam lupulina (KUNZE, 2004), que consiste em uma mistura de compostos que possuem cor amarelada e contém, principalmente, α -ácidos e β -ácidos (BRIGGS *et al.*, 2004; COELHO NETO *et al.*, 2020). Esses compostos são responsáveis por fornecer o amargor e aroma característicos da cerveja (SOUZA; ANDRADE, 2017; COELHO NETO *et al.*, 2020).

O lúpulo colhido apresenta elevado teor de umidade, em torno de 75-80% de água. Sendo assim, para que não ocorra contaminação, o lúpulo deve ser imediatamente seco e armazenado. A temperatura máxima de secagem é de 50° C até que seja obtido um teor de umidade em torno de 8-12% (KUNZE, 2004).

Ressalta-se que a composição do lúpulo é extremamente importante para a qualidade da cerveja produzida. Segundo dados apresentados por Kunze (2004), a composição do lúpulo em base seca é apresentada na Tabela 2. O restante consiste em celulose e outros materiais que não apresentam relevância na fabricação de cerveja. Os componentes mais importantes para a produção da cerveja são as substâncias amargas e o óleo de lúpulo (KUNZE, 2004).

Tabela 2 - Composição do lúpulo em base seca.

Componentes	Quantidade (%) BS
Substâncias amargas	18,5
Óleo de lúpulo	0,5
Polifenóis	3,5
Proteínas	20,0
Minerais	8,0

Fonte: Adaptado de Kunze (2004)

2.3.6 LEVEDURA

A levedura é um microrganismo unicelular capaz de obter a energia que necessita para manutenção do seu metabolismo na presença de oxigênio (aeróbio) por meio da respiração ou na ausência de oxigênio (anaeróbico) por fermentação (KUNZE, 2004).

Na produção da cerveja, o açúcar do mosto é fermentado pela levedura e convertido em álcool e CO₂. Para isto são utilizadas, geralmente, leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, em que cepas selecionadas são isoladas e cultivadas como leveduras de cerveja. Outras cepas desta levedura são utilizadas como leveduras de panificação, destilaria ou vinificação (KUNZE, 2004).

Considerando que a levedura não produz apenas álcool, mas também, como resultado do seu metabolismo, apresenta forte influência no sabor e em características da cerveja, é importante conhecer as estruturas e a composição das leveduras, bem como o seu metabolismo e o seu crescimento. Segundo dados apresentados por Kunze (2004), a composição da levedura em base seca é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição da levedura em base seca.

Componentes	Quantidade (%) BS
Proteínas	45 - 60
Carboidratos	25 - 35
Lipídios	4 - 7
Minerais	6 - 9

Fonte: Adaptado de Kunze (2004)

2.4 BAGAÇO DE MALTE

2.4.1 OBTENÇÃO, CONCEITUAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

O bagaço de malte é considerado o principal subproduto do processo de fabricação de cerveja, representando 85% do total dos subprodutos gerados na indústria cervejeira (LIMA, 2010; LYNCH, 2016; FRANCISKI *et al.*, 2018; VIEIRA, 2021). Como pode ser observado na Figura 1, o BM é obtido após o processo de filtração, sendo ele a fração insolúvel composta da casca do grão de cevada maltada (LIMA, 2010; VIEIRA, 2021).

O BM gerado durante a produção cervejeira é, majoritariamente, destinado à produção de ração animal. Porém, devido à sua composição, apresentada nas Tabelas 4 e 5, pode ser destinado a outros fins de modo a valorizar sua reutilização obtendo produtos de maior valor agregado (LIMA, 2010; VIEIRA 2021; ALMEIDA; CARVALHO; OLIVATO, 2022). Nas Tabelas 4 e 5 é possível verificar a composição química do BM obtido a partir da produção de cerveja com 100% malte de cevada, sem adição de outros cereais no processo e sem lúpulo residual.

Tabela 4 - Composição química do bagaço de malte em base seca.

Componentes	% (p/p)
Celulose (glicana)	16,8
Hemicelulose	28,4
Xilana	19,9
Arabinana	8,5
Lignina total	27,8
Lignina Klason	23,0
Lignina solúvel em meio ácido	4,8
Grupos acetil	1,3
Proteínas	15,2
Extrativos	5,8
Cinzas	4,6

Fonte: Adaptado de Lima (2010)

Tabela 5 - Minerais e vitaminas presentes no bagaço de malte.

Minerais	(mg/kg)	Vitaminas	(µg)
Silício	10740,0	Biotina	0,1
Fósforo	5186,0	Colina	1800
Cálcio	3515,0	Ácido Fólico	0,2
Enxofre	1980,0	Niacina	44
Magnésio	1958,0	Ácido Pantotênico	8,5
Sódio	309,3	Riboflavina	1,5
Potássio	258,1	Tiamina	0,7
Ferro	193,4	Piroxidina	0,7
Zinco	178,0		
Manganês	51,4		
Alumínio	36,0		
Cobre	18,0		
Bário	13,6		
Estrôncio	12,7		
Cromo	5,9		

Fonte: Adaptado de Lima (2010)

A composição química do BM pode variar conforme as condições em que é exposta a cevada, isto é, a época de colheita, o clima, a genética da espécie (MARTINS *et al.*, 2023), as condições de maltagem e brassagem, além da qualidade e tipo de aditivos adicionados no processo de produção da cerveja (MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006; LIMA, 2010).

Como ocorre para a hemicelulose presente no mosto cervejeiro, a hemicelulose presente no BM ao ser degradada enzimaticamente, pode se transformar em polissacarídeos de menor massa molecular, como as β -glucanas. Uma problemática dessa transformação no processo cervejeiro, é que as β -glucanas são responsáveis por aumentar a viscosidade e a turvação do mosto e da cerveja, dificultando ainda mais a filtração e, então, prejudicando a estabilidade coloidal dessa bebida (SENAI, 2004).

Além disso, o BM contém compostos fenólicos, em torno de 7-20 g.kg⁻¹, em base seca de BM, que são um grupo de compostos bioativos que apresentam atividade antioxidante (MOROSINI; BORTOLUZZI; MÜLLER, 2018; VIEIRA, 2021; MARTINS *et al.*, 2023), efeitos antimicrobianos (REFOSCO *et al.*, 2019) e causam impacto no sabor e cor do alimento.

Segundo o trabalho de Martins *et al.* (2023) o extrato hidroalcolólico do BM é rico em compostos fenólicos como os taninos, flavonas, flavononas e xantonas. Esses compostos são responsáveis por conferir diversos benefícios à saúde, principalmente na prevenção e combate

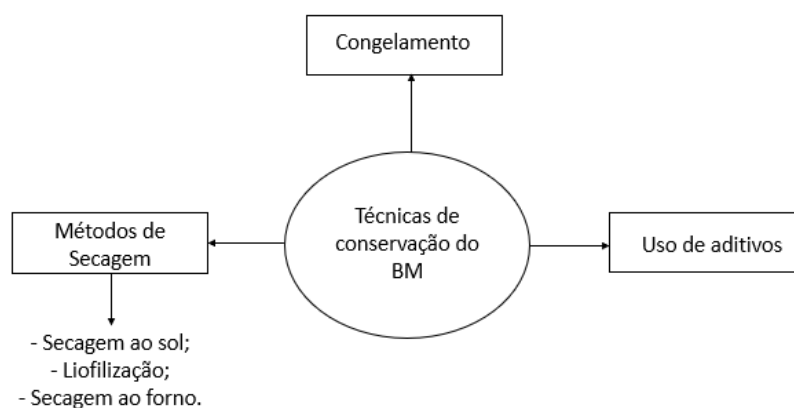
às doenças, como as cardiovasculares, as neurodegenerativas e o câncer, agindo sobre os radicais livres gerados no organismo (REFOSCO *et al.*, 2019; MARTINS *et al.*, 2023).

2.4.2 MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO

O bagaço de malte gerado na produção cervejeira apresenta diversos açúcares residuais após a mosturação, além de um elevado teor de umidade, em torno de 80% (LIMA, 2010; VIEIRA, 2021). Tal condição é extremamente favorável ao crescimento microbiano, fazendo com que o BM seja facilmente deteriorado, principalmente se armazenado à temperatura ambiente (TEREFE, 2022).

Dessa forma, é imprescindível realizar algum tratamento que não apenas impeça o crescimento microbiano, mas que também não modifique ou danifique esse subproduto. Portanto, esses problemas podem ser resolvidos utilizando vários métodos de conservação, como os apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Representação das técnicas de conservação do BM



Fonte: Adaptado de Terefe (2022).

A secagem é o método de conservação do BM mais amplamente utilizado. Diversas cervejarias já possuem plantas destinadas ao processamento de BM usando uma técnica de secagem em duas etapas, em que primeiramente o teor de água é reduzido a 60% por prensagem, seguido de secagem para garantir o teor de umidade abaixo de 10%. A secagem é o método

mais eficaz de conservação do BM, sendo que o processo tradicional de secagem do BM baseia-se na utilização de secadores de tambor rotativo (TEREFE, 2022).

A conservação do BM por meio de secagem em estufa, liofilização ou sob luz solar reduz o volume do produto e diminui os custos de transporte e armazenamento. E em termos de custo econômico, a secagem em forno é preferível quando comparada ao congelamento. Além disso, a técnica de congelamento não é apropriada, pois pode afetar diretamente alguns componentes do açúcar (como a arabinose) presentes no BM (TEREFE, 2022).

Ressalta-se que para proteger o BM de sabores desagradáveis, ele deve ser seco a temperaturas inferiores a 50 °C, evitando a reação de Maillard. Na secagem em estufa/forno, há o risco da temperatura de partes do BM que estão mais próximas da fonte do secador aumentar resultando na queima do BM (TEREFE, 2022). A secagem à luz solar do BM é um processo mais longo já que não há controle da temperatura, além disso deve ter uma maior atenção à essa técnica para evitar a deposição de outros possíveis agentes contaminantes.

Outra forma de conservação seria a partir do uso de aditivos como ácidos orgânicos e inorgânicos, por exemplo, ácido láctico, acético, fórmico, benzóico, clorídrico e sulfúrico, sendo os ácidos benzóico e fórmico mais eficazes; ou aditivos comerciais como NaOH. Porém, a utilização dessas substâncias químicas pode não agradar os consumidores que prezam por ingredientes alimentares mais naturais (TEREFE, 2022) e, além disso, não diminuem o volume do BM, sendo necessário um espaço maior para seu armazenamento.

3 METODOLOGIA DO ESTUDO

O estudo foi realizado a partir de pesquisas de trabalhos científicos incluindo artigos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso (TCC) realizadas na base scopus e no google acadêmico, considerando o período de 2010 a 2023, com as palavras-chave “*brewer’s spent grain*”, “*reuse*”, “*recycle*”, “*compounds*”, “*extraction*”, “*beer*”, “*production*”, bem como suas respectivas traduções. Além disso, foram utilizados livros que tratam desse mesmo tema. Para o estudo mercadológico, além dessas pesquisas, foi necessário buscar por dados disponíveis em sites específicos, que estão devidamente referenciados no trabalho.

4 RESULTADOS DO ESTUDO

4.1 ESTUDOS SOBRE ISOLAMENTO E REUTILIZAÇÃO INTEGRAL E DE COMPONENTES DO BM: ANÁLISE TECNOLÓGICA E APLICAÇÕES EM ALIMENTOS

Devido a seu elevado valor nutricional (rico em proteínas e fibras, por exemplo), o BM pode ser reutilizado na indústria de alimentos em sua forma integral ou ter algum de seus componentes isolados. Dessa forma, existem estudos que consideram o BM na suplementação de alguns alimentos, por exemplo, adicionando-o na elaboração de pães, biscoitos, bolos e petiscos para o enriquecimento nutricional desses produtos por meio do aumento de fibras, proteínas, compostos bioativos dentre outros (LIMA, 2010; RIGO *et al.* 2017; VIEIRA, 2021). Porém, o BM proveniente da produção cervejeira apresenta uma alta granulometria para a produção desses alimentos, assim, o subproduto integral deve ser submetido a um pré-tratamento (trituração e peneiração) para se tornar uma farinha e, somente depois, adicionado na fabricação dos mesmos (LIMA, 2010).

Em experimentos realizados por Araújo *et al.* (2021), a farinha de BM foi aplicada, em diferentes concentrações, na fabricação de um produto “tipo salsicha” em substituição a proteína texturizada de soja. Após as análises foi comprovado que o produto final incorporado com a farinha de BM apresentou um aumento na quantidade de fibra bruta, proteína bruta e cinzas.

Estudos realizados por Lima (2010) apresentam as propriedades da farinha de BM em alimentos, que podem ser consideradas vantagens, e estão demonstradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Propriedades da farinha de bagaço de malte na produção de alimentos.

Benefícios/vantagens da farinha de BM	
1	Fácil de misturar quando em baixa granulometria
2	Elevado teor de fibras e proteínas
3	Presença de diversos minerais (Ca, P, Fe, Cu, Zn e Mg)

Fonte: Adaptado de Lima (2010)

No item 2 da Tabela 6, resalte-se a importância de analisar a aplicação final dessa farinha, pois, como dito anteriormente, em alguns casos, a elevada concentração de fibras pode impactar na matriz do glúten e modificar os aspectos sensoriais do mesmo (LI *et al.*, 2024).

Além disso, alguns componentes do BM podem ser isolados como mostram estudos realizados por Vieira (2021), em que foi obtido um hidrolisado proteico a partir do BM que apresentou boa atividade antioxidante *in vitro*, alcançando valores superiores a 90% em captura do radical livre de ABTS•.

Como dito anteriormente, o BM apresenta elevado teor de fibras alimentares, sendo uma delas a β -glucana, que apresenta atividade antimicrobiana *in vitro* (THOMPSON; OYSTON; WILLIAMSON, 2010) e é capaz, por exemplo, de promover o controle de colesterol sérico (ARAÚJO *et al.*, 2021). Dessa forma, revela-se interessante isolar a β -glucana e adicioná-la na produção de suplementos alimentares (SILVA, 2016).

A β -glucana de cevada é um polissacarídeo composto por moléculas de glicose, principalmente nas ligações β -(1,3) e β -(1,4) (SHINOHARA; OLIVEIRA, 2022). As β -glucanas estão presentes na parede celular de alguns microrganismos e alguns cereais, como a cevada (BELLOLI, 2016; LIMA, 2019). Na Figura 4 é possível verificar algumas fontes de β -glucana, bem como as suas estruturas e propriedades.

Figura 4 - Fontes de β -glucana, suas estruturas moleculares e propriedades

FONTE	ESTRUTURA	PROPRIEDADES
Algas (<i>Euglena gracilis</i>)	(1,3) 	Estimulação sistema imune
Aveia	(1,3)(1,4) 	Modulação da microbiota intestinal
Aveia, cevada	(1,3)(1,4) 	Diminuição de riscos cardiovasculares
Levedura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	(1,3)(1,6) 	Imunomoduladora
Fungos (<i>Lentinus edodes</i>)	(1,3)(1,6) 	Imunomoduladora

Fonte: Shinohara e Oliveira (2022)

Assim, as β -glucanas podem ser comercializadas como compostos bioativos, com diversas propriedades funcionais. É capaz de atuar como agente redutor do colesterol sanguíneo e apresenta propriedade antidiabética (SHINOHARA; OLIVEIRA, 2022). A β -glucana presente na cevada apresenta propriedades espessantes, podendo substituir a goma arábica, alginatos, pectina, goma xantana e carboximetilcelulose em alimentos. Além disso, é capaz de melhorar a textura e o sabor de pães e bolos sem glúten (LIMA, 2019) e pode substituir componentes como a gordura em alimentos, conferindo efeito nas propriedades nutricionais, funcionais, tecnológicas e sensoriais do produto final (GAUTÉRIO *et al.*, 2022).

Uma das formas de reaproveitar essa β -glucana é extraíndo-a do BM e isolando-a a fim de aplicá-la diretamente em um produto, como por exemplo, um suplemento nutricional. A extração desse polissacarídeo do BM é uma alternativa para converter um subproduto do processo cervejeiro em um novo produto de valor agregado. Essa extração pode ocorrer como foi realizado por Limberger *et al.* (2011), porém a partir da farinha de BM; nesse estudo realizado com farinha de cevada a quantidade de β -glucana extraída variou de 44,21 a 53,38 %.

Como dito anteriormente, o BM apresenta condições extremamente favoráveis ao crescimento microbiano, assim, logo após a obtenção do BM deve-se realizar um pré-tratamento. Esse pré-tratamento deve ser feito dentro da própria indústria cervejeira e, somente após finalizado, o BM poderá ser enviado a outros setores ou outras indústrias para ser reutilizado.

Dentre os processos conhecidos e estudados, tem-se a secagem do BM como a opção mais viável e presente nas indústrias (TEREFE, 2022). Porém, é crucial que a temperatura de secagem seja mantida abaixo de 50 °C, pois temperaturas superiores podem favorecer a reação de Maillard e/ou causar a desnaturação proteica, resultando na perda de propriedades tecnológicas e funcionais do BM (LIMA, 2010; VIEIRA, 2021).

Ressalta-se que em alguns casos a ocorrência da reação de Maillard é desejada, por exemplo na produção de biscoitos, porém, considerando as diversas aplicações no reaproveitamento do BM, é importante que ela não ocorra para não interferir em produtos em que não há interesse de ocorrência dessa reação.

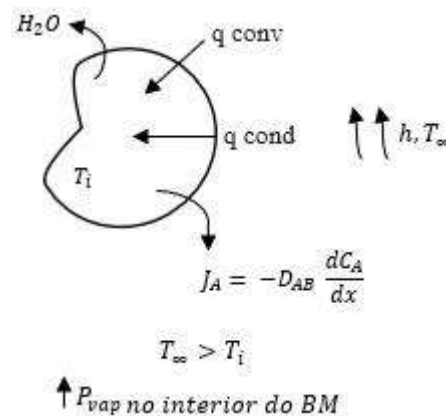
O tratamento do BM consiste em um processo de secagem ou desidratação, em que a água presente nesse subproduto sólido será removida passando diretamente do estado líquido ao estado gasoso (LIMA, 2010).

Esse processo tem como fundamento a combinação da transferência de calor, seja por condução ou convecção, e a transferência de massa, que pode ser simplificada de acordo com a primeira Lei de Fick (Equação 1), em que é possível calcular a quantidade de material (massa) que é transferido (GARBIN, 2022).

$$J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dx} \quad (1)$$

Onde, J_A é o fluxo mássico, D_{AB} o coeficiente de difusão, $\frac{dC_A}{dx}$ o gradiente de concentração. E essa transferência de massa que ocorre no alimento, nesse caso, BM, pode ser representada na Figura 5.

Figura 5 - Demonstração da transferência de massa que ocorre no BM



Fonte: Elaboração própria (2023)

De acordo com a Figura 5 é possível perceber que o calor é transferido para o interior do BM que apresenta uma temperatura (T_i) menor que a temperatura externa (T_∞). O calor pode ser transferido por condução (q_{cond}) ou convecção (q_{conv}), sendo “h” o coeficiente de transferência de calor por convecção. Com esse aumento de temperatura no interior do BM, há aumento na pressão de vapor (P_{vap}) no interior do BM, fazendo com que a água no interior do mesmo evapore e seja transferida para fora.

Como dito anteriormente, o processo de secagem pode ocorrer por condução, em que há o contato direto do BM com a superfície quente, e/ou convecção, em que ocorre por meio de um fluido aquecido, em geral, ar quente. Alguns exemplos de equipamentos em que ocorre

a transferência de calor por condução seriam o tambor rotativo ou outros desidratadores a vácuo; por convecção, podem ser usadas, por exemplo, bandejas, túnel ou leito fluidizado (GARBIN, 2022). Para o BM, o ideal seria utilizar o mesmo equipamento comumente utilizado já utilizado na indústria, que é o tambor rotativo (TEREFE, 2022) representado na Figura 6.

Figura 6 - Tambor rotativo



Fonte: Gem Drytech Systems Llp (2023)

O material deve ser submetido a uma temperatura de secagem mais amena (em torno de 50°C), apenas suficiente para evitar a deterioração microbiológica e/ou enzimática do mesmo. Os parâmetros de tempo, temperatura e rotação do tambor estão relacionados a manutenção das propriedades nutricionais e sensoriais do produto inicial. Isto é, caso o processo de secagem não seja controlado, pode ocorrer o escurecimento do produto final, forte alteração em aroma e sabor, além de perda de nutrientes e outros danos. Portanto, considerando que o produto final poderá ter amplas aplicações, é necessário a manutenção dessa temperatura.

Assim, após o processo de secagem com tambor rotativo o BM seria encaminhado para outro setor ou indústria para ser reaproveitado. O processo seguinte pode ser apenas a moagem do BM previamente seco e, posteriormente, sua peneiração, resultando na obtenção de uma farinha de BM.

Na Figura 7 tem-se um moedor de farinha para trigo, que pode ser utilizado como o moedor do BM após o processo de secagem. O princípio do moedor é a utilização do atrito a fim de reduzir a granulometria do material de interesse até o tamanho desejado (GUZMÁN, 2010).

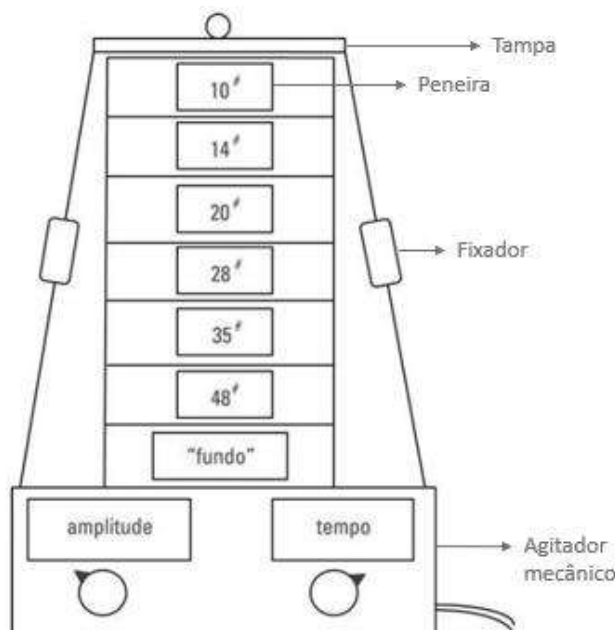
Figura 7 - Moedor de farinha para trigo



Fonte: Alibaba (2023)

Na Figura 8 tem-se um sistema de seis peneiras e o “fundo” acoplados a um agitador mecânico. O princípio da utilização de peneiras é a padronização da granulometria do produto de acordo com o tamanho desejado (PEÇANHA, 2014). A Figura 8 é um exemplo de modelo de peneiras que pode ser utilizado para peneirar o BM após a etapa de moagem.

Figura 8 - Sistema com peneiras e fundo acoplados a um agitador mecânico



Fonte: Adaptado de Peçanha (2014)

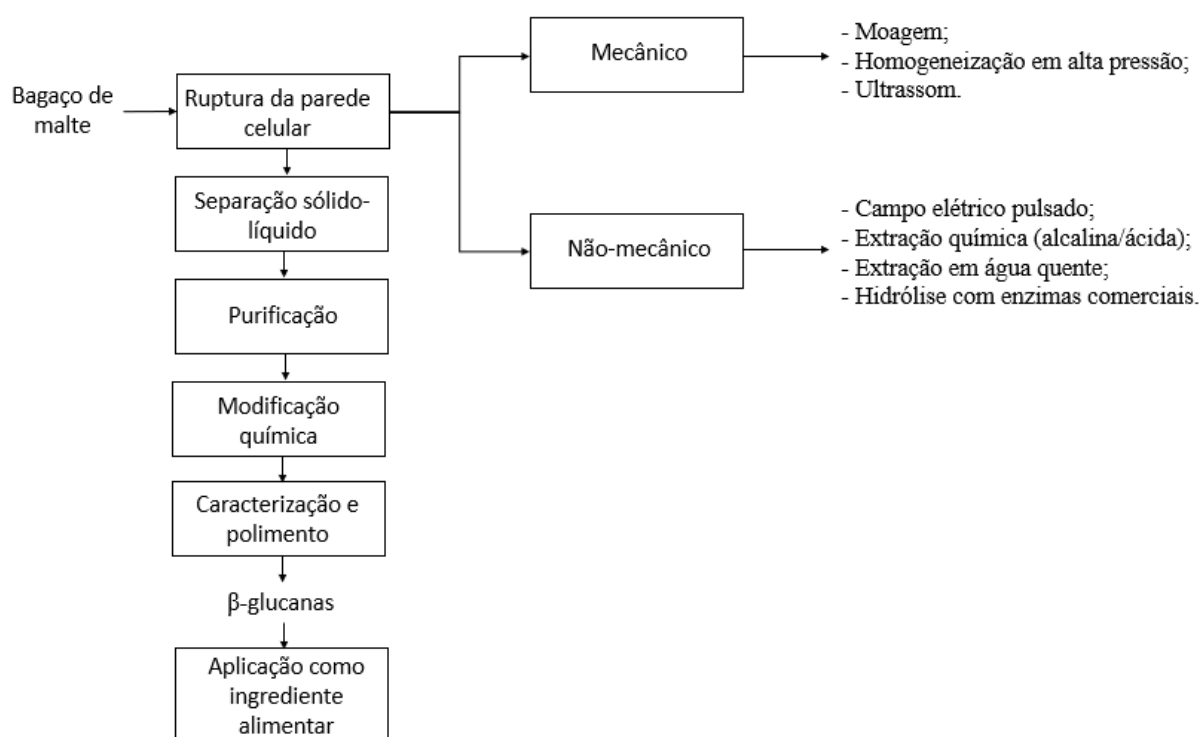
Nesse esquema tem-se como a menor abertura de peneira a de 10 mesh (ou 10[#]). Em termos de granulometria, tem-se: 10[#] (1,68 mm), 14[#] (1,19 mm), 20[#] (0,841 mm), 28[#] (0,595 mm), 35[#] (0,420 mm) e 48[#] (0,297 mm). Tem-se o “fundo” como um recipiente no qual ficarão retidas as partículas mais finas da amostra após o processo de peneiração (PEÇANHA, 2014). A granulometria é definida de acordo com o objetivo do produto final, podendo chegar a 100 mesh, como realizado no trabalho de Lopes *et al.* (2015). Segundo Arnaut (2019), por exemplo, indica-se que a farinha de bagaço de malte com menor granulometria contribui para escurecer a cor do miolo de pão, sendo esse um atributo importante para a aceitação sensorial neste trabalho.

Ademais, a partir do BM é possível extrair a β -glucana presente no BM a fim de aplicá-la em suplementos nutricionais em substituição a β -glucana proveniente de outras fontes com o objetivo de reduzir o custo do processo, já que se trata de um subproduto do processo cervejeiro (LIMBERGER *et al.* 2011). Para que ocorra essa extração, pode-se adaptar ao processo realizado por Gautério *et al.* (2022) para a levedura do subproduto do processo cervejeiro, em que devem ser primeiramente realizados métodos de ruptura da parede celular do BM para a liberação da β -glucana, que podem englobar estratégias mecânicas e não mecânicas; essas estratégias podem ser realizadas como únicas, combinadas ou em sequência.

Ressalta-se que a escolha do método de ruptura dependerá da eficácia e eficiência da ruptura e a intenção de aplicação final, pois afetará o rendimento, pureza, características físico-químicas e funcionais ao fim do processo.

Ainda conforme apresentado no trabalho de Gautério *et al.* (2022), os métodos mecânicos, em geral, favorecem a mudança de escala e apresentam baixo custo operacional, por outro lado, não apresentam seletividade e podem resultar na obtenção de um produto final com baixa pureza. Alguns exemplos desses métodos seriam a moagem (produção da farinha, por exemplo), homogeneização em alta pressão e ultrassom. Os métodos não mecânicos, tendem a apresentar seletividade, porém apresentam dificuldade na mudança de escala. Estes métodos incluem campo elétrico pulsado, extração química (alcalina/ácida), extração com água quente e hidrólise com enzimas comerciais. Esses métodos são apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Diagrama de blocos de métodos de extração de β -glucana.



Fonte: Adaptado de Gautério *et al.* (2022)

A separação sólido-líquido representada na Figura 9 pode ser realizada por centrifugação. As etapas de purificação, modificação química (para β -glucana insolúvel) e

polimento são comuns de serem realizadas após a ruptura da parede celular. Além disso, recomenda-se, ao fim do processo, a caracterização da estrutura e propriedades biológicas e tecnológicas da β -glucana obtida (GAUTÉRIO *et al.*, 2023).

4.2 ESTUDO MERCADOLÓGICO DO BM

Realizar o estudo de mercado nacional e internacional do BM é essencial para determinar o potencial econômico e viabilidade de fabricação de novos produtos derivados desse subproduto na indústria alimentícia. Porém, deve-se considerar que os detalhes específicos dessa análise tendem a variar com o tempo, a região e a disponibilidade de dados atualizados.

Assim, neste tópico será abordado o estudo mercadológico do BM a nível de produção nacional e internacional a partir dos dados atualizados até o presente ano (2023); visando compreender melhor os custos envolvidos no *upcycling* do BM, desde a geração do subproduto até a obtenção de um novo produto.

4.2.1 MERCADO NACIONAL

Como dito anteriormente, calcula-se que para cada 100 L de cerveja produzida sejam gerados, aproximadamente, 20 kg de BM seco (LIMA, 2010; FRANCISKI *et al.*, 2018). A partir desse cálculo e avaliando os dados da CervBrasil (2023), considerando uma produção anual de 14,1 bilhões de litros de cerveja no mercado nacional, chega-se à marca de 2,82 milhões de tonelada de bagaço de malte seco gerado.

Segundo dados encontrados no MF Rural (2023), o valor de venda do BM de cevada, para a alimentação animal, é em torno de R\$ 0,30/kg. Assim, considerando a geração de 2,82 milhão de tonelada de BM, a venda de todo esse subproduto rende cerca de R\$ 846 milhões de reais por ano.

Porém, um fator extremamente importante a considerar é o custo inerente aos processos de fabricação dos novos produtos, pois, como pode ser observado ao longo do presente trabalho, as formas de aplicação do BM requerem custos adicionais que envolvem a utilização de recursos, como água, energia, transporte e armazenamento e que, portanto, devem ser analisados (ASCHEMANN-WITZEL *et al.*, 2023).

Por outro lado, destaca-se que o reaproveitamento de subprodutos agroindustriais como o BM pode ser capaz de gerar fonte de renda, melhorar a economia, criar fluxos de receitas e gerar oportunidades de negócios e de emprego (OLIVEIRA, 2018; GÓMEZ-GARCÍA *et al.*, 2021).

Além disso, analisando, por exemplo, a produção da farinha de BM, deve-se considerar que o BM que seria descartado ou destinado à alimentação animal, é incorporado à alimentação humana a partir de um menor custo já que ele só tem necessidade de ser moído e peneirado, não precisa ser inteiramente pré-processado como outros cereais. Assim, como ele pode substituir, em partes, a farinha de outros cereais na fabricação de pães, massas e biscoitos, é uma forma de reduzir custos, promovendo a sustentabilidade dos negócios (BAZAN, 2021).

4.2.2 MERCADO INTERNACIONAL

Foi considerado o mesmo cálculo de litros de cerveja produzida gerando, aproximadamente, a mesma quantidade em quilo de BM.

De acordo os dados disponíveis no Atlas Big (2023), a produção internacional de cerveja é de aproximadamente 166 milhões de toneladas. Para facilitar os cálculos, a densidade da cerveja será considerada igual a 1 kg/L. Assim, tem-se que a quantidade de cerveja produzida internacionalmente corresponde a aproximadamente 166 bilhões de litros. Dessa forma, são gerados em torno de 33,2 milhões de toneladas de bagaço de malte.

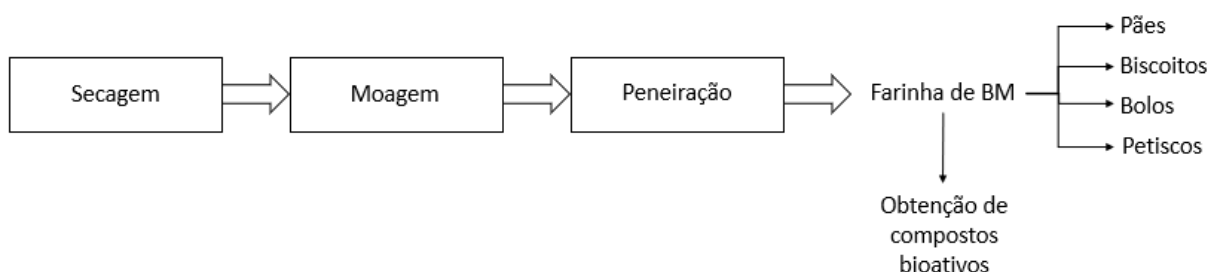
Utilizando os mesmos dados encontrados no MF Rural (2023), de valor de venda do BM de cevada, para a alimentação animal, em torno de R\$ 0,30/kg, a média anual de variação do dólar em torno de R\$ 5,00 (EXCHANGE RATES, 2023) e a geração de 33,2 milhões de toneladas de BM, tem-se que a venda de todo esse subproduto rende cerca de R\$ 9,96 bilhões por ano ou US\$ 1,99 bilhão.

Além disso, segundo dados de Marchant (2021), estima-se que a perda e o desperdício de alimentos custem à economia mundial em torno de 936 bilhões de dólares por ano. Assim, torna-se imprescindível o reaproveitamento de subprodutos como o BM que pode gerar renda, emprego, entre outros benefícios já citados no tópico 3.3.1, auxiliando na manutenção da economia.

4.3 SUGESTÕES DE MÉTODOS DE REAPROVEITAMENTO INTEGRAL DO BM E EXTRAÇÃO DE β -GLUCANA, COMPOSTOS FENÓLICOS E PEPTÍDEOS BIOATIVOS

A partir do estudo realizado, sugere-se primeiramente a elaboração de uma farinha a partir do BM obtido. Uma forma de demonstrar essa obtenção está apresentada na Figura 10, em que esses processos serão realizados de acordo com o descrito no subtópico 3.2.

Figura 10 - Diagrama de blocos da obtenção da farinha de BM

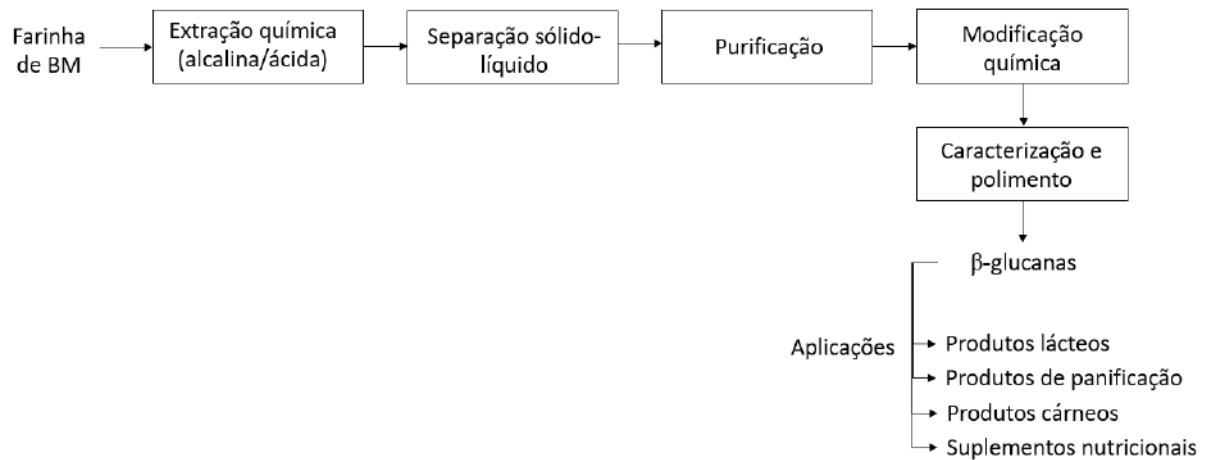


Fonte: Elaboração própria (2023)

Como vantagens desse processo tem-se que a farinha é uma maneira de utilizar o BM em sua forma integral para aplicação direta em alguns produtos; e, considerando a padronização da granulometria dessa farinha, análises posteriores de extração de alguns compostos são facilitadas, assim como o transporte e o armazenamento desse produto também são facilitados nesse formato.

Além disso, após a obtenção da farinha, podem ser realizadas análises de extração de compostos como compostos fenólicos, β -glucana e peptídeos bioativos. Para a β -glucana, por exemplo, considerando fatores de custo operacional e a maior facilidade de mudança de escala, pode-se dizer que a obtenção da farinha de BM, por meio do processo mecânico de moagem seguido do processo não-mecânico de extração química adaptado ao processo descrito no trabalho de Avramia e Amariei (2022) para a levedura do subproduto do processo cervejeiro, seria economicamente mais viável. Neste trabalho, após a ruptura da parede celular, a extração da β -glucana é realizada utilizando NaOH seguida da utilização de ácido acético. O diagrama desse processo pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Diagrama de blocos da extração da β -glucana.

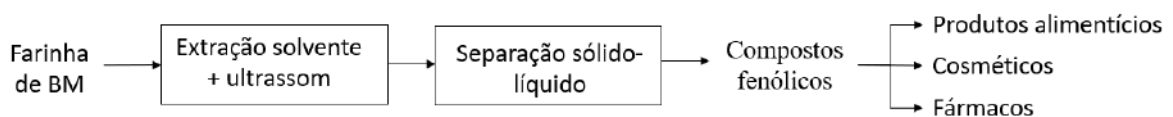


Fonte: Adaptado de Limberger *et al.* (2011) e Gautério *et al.* (2022)

Ainda considerando a redução de custos, seria plausível o BM seco fosse comprado por uma indústria produtora de farinha, para que não houvesse custos extras relacionados ao processamento do BM a fim de obtenção da farinha, como a compra de equipamentos que já existem nas linhas de produção de farinha de outros cereais. Porém, é importante ressaltar que não é possível realizar a substituição integral das farinhas comumente utilizadas pela farinha de BM devido a questões tecnológicas e sensoriais (RIGO, 2017). Dessa forma, a indústria que fosse produzir essa farinha poderia usá-la em partes e, além disso, vendê-la para outras indústrias ou empresas que tivessem interesse em utilizá-la integralmente ou extrair os compostos bioativos presentes.

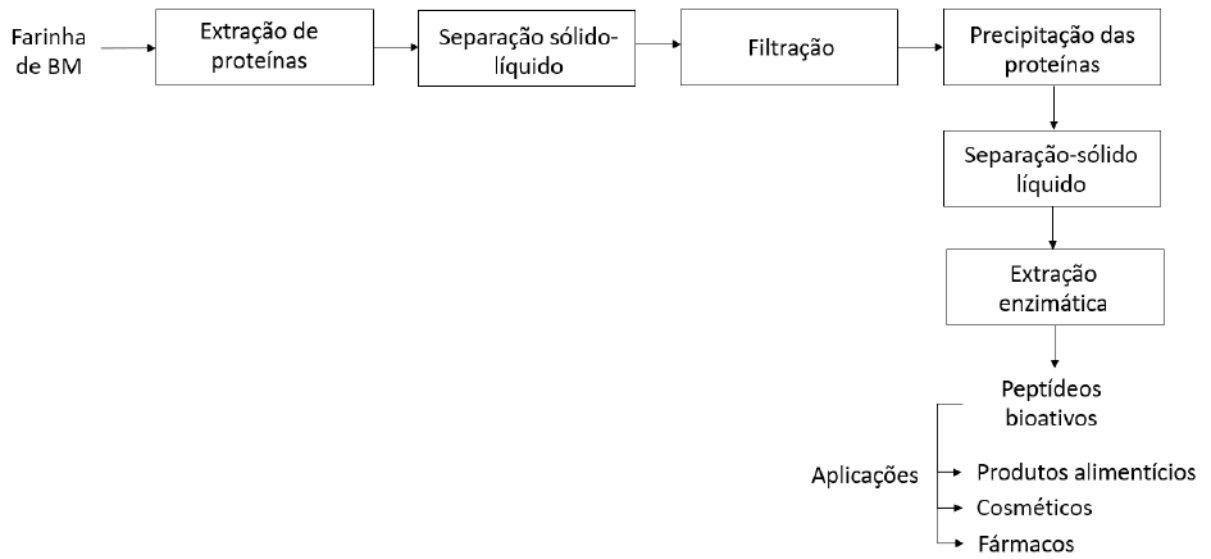
Os compostos fenólicos podem ser extraídos a partir de uma extração por solvente combinada à ultrassom e seria realizada uma extração química e os peptídeos bioativos podem ser extraídos a partir da hidrólise enzimática do BM, como pode ser visto, respectivamente, nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Diagrama de blocos da extração de compostos fenólicos.



Fonte: Adaptado de Morosini; Bortoluzzi; Müller (2018).

Figura 13 - Diagrama de blocos da extração de peptídeos bioativos.



Fonte: Adaptado de Vieira (2021)

5 CONCLUSÕES

Verifica-se a necessidade de realizar um pré-tratamento (secagem) do BM imediatamente após sua geração, para que não ocorra contaminação microbiana e ele seja conservado até ser aplicado em um novo produto.

Além disso, foi visto que o BM apresenta proteínas (~ 15 %) e fibras (~ 70 %), como a β -glucana, além de compostos fenólicos e peptídeos bioativos. É comprovado que esses compostos são capazes de fornecer benefícios à saúde, na prevenção e combate às doenças, como as cardiovasculares e inflamatórias, devido às suas propriedades antioxidantes, antialérgicas, anti-inflamatórias e antimicrobianas.

Assim, os estudos realizados demonstram que o BM é um subproduto com potencial de valorização ao ser reaproveitado, podendo ser inserido como matéria-prima para fabricação de novos produtos alimentícios, desde pães e biscoitos produzidos diretamente a partir da farinha de BM, até ingredientes alimentares funcionais com alto valor agregado, contendo os compostos bioativos, isolados, desse subproduto.

Por fim, foram vistos benefícios econômicos e ambientais como a geração de fonte de renda, melhora na economia, criação de fluxos de receitas, geração oportunidades de negócios e de emprego, além da promoção de sustentabilidade, evitando o desperdício e agregando valor a novos produtos.

6 REFERÊNCIAS

ALIBABA. **Moedor de pó industrial, moedor de farinha para trigo**. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/Industrial-1600109156614.html>. Acesso em: 01 out. 2023.

ALMADA NETO, Ladir. **Cerveja Lager e Cerveja Ale: conheça os tipos mais consumidos de cerveja**. 2019. Disponível em: <https://www.cervejariacampinas.com.br/blog/cerveja-lager-e-cerveja-ale/>. Acesso em: 12 set. 2023.

ALMEIDA, Lais C. M.; CARVALHO, Francieli K.; OLIVATO, Juliana B.. Production and Characterization of Starch/PVA Blends with Bioactive Compounds from Malt Bagasse. **Macromolecular Symposia**, v. 406, n. 1, dez. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/masy.202200013>.

ARAÚJO, Henrique Lentulo *et al.* Características físicas, químicas e microbiológicas de salsicha processada com farinha de bagaço de malte de cevada. **Research, Society And Development**, v. 10, n. 3, 14 mar. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12069>.

ARNAUT, Andrey Nascimento. **DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PÃO DE FERMENTAÇÃO NATURAL ENRIQUECIDO COM FARINHA DE BAGAÇO DE MALTE**. 2019. 57 f. Curso de Bacharelado em Gastronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1045/1/tcc_eso_andreynascimentoarnaut.pdf. Acesso em: 02 out. 2023.

ASCHEMANN-WITZEL, Jessica; ASIOLI, Daniele; BANOVIC, Marija; PERITO, Maria Angela; PESCHEL, Anne Odile; STANCU, Violeta. Defining upcycled food: the dual role of upcycling in reducing food loss and waste. **Trends In Food Science & Technology**, v. 132, p. 132-137, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2023.01.001>.

ASSUMPCÃO, Rafaela Soares Casaes. **EXTRAÇÃO E MODIFICAÇÃO DE PROTEÍNA VEGETAL DE CASTANHA-DO-BRASIL (BERTHOLLETIA EXCELSA) POR TÉCNICAS NÃO TRADICIONAIS**. 2023. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

ATLAS BIG. **Produção Mundial de Cerveja por País**: países por produção de cerveja. Países por produção de cerveja. Disponível em: <https://www.atlasbig.com/pt-br/paises-pela-producao-de-cerveja#:~:text=Mundialmente%2C%20180.332.523%20toneladas%20de%20cerveja%20s%C3%A3o%20produzidas%20por,segundo%20lugar%20com%20produ%C3%A7%C3%A3o%20anual%20de%2022.600.000%20toneladas..> Acesso em: 25 nov. 2023.

AVRAMIA, I.; AMARIEI, S. A Simple and Efficient Mechanical Cell Disruption Method Using Glass Beads to Extract β -Glucans from Spent Brewer's Yeast. *Appl. Sci.* 2022, 12, 648. <https://doi.org/10.3390/app12020648>.

AZABOU, Samia; ABID, Yousra; SEBII, Haifa; FELFOUL, Imene; GARGOURI, Ali; ATTIA, Hamadi. Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani* pisi for enzymatic extraction of lycopene. *Lwt - Food Science And Technology*, v. 68, p. 280-287, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.064>.

BAZAN, Giovani Sabadin; LEONE NETO, Eugenio R.; GOMES, Fábio de Oliveira; FREITAS, Irene Rodrigues. A SIMBIOSE INDUSTRIAL COMO MEIO DE ECONOMIA SUSTENTÁVEL NA INDÚSTRIA CERVEJEIRA: estudo de caso. **Engenharia de Produção: gestão de qualidade, produção e operações**, p. 30-39, 2021. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/210906004>.

BELLOLI, Orlando Barbieri. **DESENVOLVIMENTO DE UM SUPLEMENTO ALIMENTAR COM PROPRIEDADES FUNCIONAIS À BASE DE ISOLADO PROTEICO DO SORO DE LEITE, PROBIÓTICO E β -GLUCANA**. 2016. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência de Leite e Derivados, Unopar, Londrina, 2016. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/31592/1/Orlando%20Belloli.pdf>. Acesso em: 02 out. 2023.

BEZERRA, Fernanda de Sousa. **ESTUDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS NATURAIS NA EXTRAÇÃO, ESTABILIDADE E APLICAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE FARELO DE GIRASSOL**. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

BJCP - Beer Judge Certification Program. 2021. Style Guideline. Disponível em: https://www.bjcp.org/docs/2021_Guidelines_Beer.pdf. Acesso em 12 set. 2023.

BLACK, Jacqueline G.; BLACK, Laura J.. **Microbiologia: fundamentos e perspectivas**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n. 9902, de 8 de julho de 2019. Regulamenta a lei no 8.918, de 14 de julho de 1994. **Padronização, classificação, registro, inspeção e fiscalização de bebidas**. Diário Oficial da União. Brasília, D.F, 8 de julho de 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Gm/Ms nº 888, de 04 de maio de 2021. **Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano e Seu Padrão de Potabilidade**. Brasília, 04 maio 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 01 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** / coordenação de André Luiz Felisberto França *et al.*. – Brasília, DF: MMA, 2022. 209 p.: il. ; color. Disponível em https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acesso em: 12 ago. 2023.

BREWERS ASSOCIATION. **Craft Brewer Definition**: An American craft brewer is a small and independent brewer. 2022. Disponível em: <https://www.brewersassociation.org/statistics-and-data/craft-brewer-definition/>. Acesso em: 06 nov. 2023.

BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVEN, Roger. **Brewing: science and practice**. Abington: Woodhead Publishing Limited And Crc Press, 2004. 863 p.

CARVALHO, Naiara Barbosa. **CERVEJA ARTESANAL: PESQUISA MERCADOLÓGICA E ACEITABILIDADE SENSORIAL**. 2015. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

CERVBRASIL - **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**. Dados do setor, 2018. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/. Acesso em: 20 de abr. 2023.

CHESTRARIU, A.; DABIJA, A. Spent Grain: A Functional Ingredient for Food Applications. *Foods* 2023, 12, 1533. <https://doi.org/10.3390/foods12071533>.

COELHO NETO, Dorval M.; FERREIRA, Laysa L. P.; SAD, Cristina M. S.; BORGES, Warley S.; CASTRO, Eustáquio V. R.; FILGUEIRAS, Paulo R.; LACERDA JUNIOR, Valdemar. Chemical Concepts Involved in Beer Production: a review. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 1, p. 120-147, 2020. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20200011>.

EDGAR. **Mapping Human Emissions on Earth**. 2021. Disponível em: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

EMBRAPA. **Os desperdícios por trás do alimento que vai para o lixo**. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28827919/os-desperdicios-por-tras-do-alimento-que-vai-para-o-lixo>. Acesso em: 20 abr. 2023.

EXCHANGE RATES. **Histórico de Taxas de Câmbio do Dólar Americano (USD) para o Real Brasileiro (BRL) em 2023**. Disponível em: <https://www.exchange-rates.org/pt/historico/usd-brl-2023#:~:text=4%2C64%2C855%2C25%2C45%2C6%20Esse%20gr%C3%A1fico%20mostra%20os%20dados%20hist%C3%B3ricos%20da,americano%20se%20desvalorizou%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20ao%20real%20brasileiro..> Acesso em: 30 nov. 2023.

FONTANA, Gabriele de Sá; MARCIANO, Michele da Silva. **EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS A PARTIR DO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DA POLPA DE MORANGO (*Fragaria spp.*) EMPREGANDO SOLVENTE EUTÉTICO NATURAL PROFUNDO (NADES) E ULTRASSOM**. 2023. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2023. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/31947/1/extracaobioativospolpamorango.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.

FRANCISKI, Mauro A. *et al.* Development of CO₂ activated biochar from solid wastes of a beer industry and its application for methylene blue adsorption. **Waste Management**, v. 78, p. 630-638, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.040>.

GARBIN, Eudes Adan. **ESTUDO EXPLORATÓRIO DA SECAGEM TÉRMICA DE RESÍDUO DE CERVEJARIA BAGAÇO DE MALTE**. 2022. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29935/1/secagemresiduobagacomalte.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.

GARZÓN, Antonela G.; FERREIRA, María del Rosario; CIAN, Raul E.; OLIVA, Maria Eugenia; D'ALESSANDRO, Maria Eugenia; DRAGO, Silvina R.. Microencapsulated bioactive peptides from brewer's spent grain promotes antihypertensive and antidiabetogenic effects on a hypertensive and insulin-resistant rat model. **Journal Of Food Biochemistry**, v. 46, n. 10, 23 jun. 2022. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1111/jfbc.14283>.

GAUTÉRIO GV, SILVÉRIO SIDC, EGEA MB and LEMES AC (2022), β -glucan from brewer's spent yeast as a techno-functional food ingredient. *Front. Food. Sci. Technol.* 2:1074505. doi: 10.3389/frfst.2022.1074505.

GEM DRYTECH SYSTEMS LLP. **Single Drum Flaker / Single Drum Dryer**. Disponível em: <https://www.gemdryers.com/products/single-drum-flaker-single-drum-dryer/>. Acesso em: 01 out. 2023.

GÓMEZ-GARCÍA, Ricardo; CAMPOS, Débora A.; AGUILAR, Cristóbal N.; MADUREIRA, Ana R.; PINTADO, Manuela. Valorisation of food agro-industrial by-products: from the past to the present and perspectives. **Journal Of Environmental Management**, v. 299, p. 113571, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113571>.

GRASSO, S.; PINTADO, T.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A.M. Characterisation of Muffins with Upcycled Sunflower Flour. *Foods* 2021, 10, 426. <https://doi.org/10.3390/foods 10020426>.

GUZMÁN, Omar Esau Camacho. **DISPOSITIVO MOEDOR DE CEREAIS E GERADOR DE ELECTRICIDADE PARA APOIO AO DESENVOLVIMENTO DE**

COMUNIDADES RURAIS EM MOÇAMBIQUE. 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design Industrial, Universidade do Porto, Porto, 2010.

HOLT, Roberta R.; BARILE, Daniela; WANG, Selina C.; MUNAFO, John P.; ARVIK, Torey; LI, Xueqi; LEE, Fanny; KEEN, Carl L.; TAGKOPOULOS, Ilias; SCHMITZ, Harold H.. Chardonnay Marc as a New Model for Upcycled Co-products in the Food Industry: concentration of diverse natural products chemistry for consumer health and sensory benefits. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 70, n. 48, p. 15007-15027, 21 nov. 2022. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.2c04519>.

JUSTINO, Heloisa de Fátima Mendes; CUNHA, Jeferson Silva; MARTINS, Caio Cesar Nemer; LEITE JÚNIOR, Bruno Ricardo de Castro. Principais biopolímeros derivados de subprodutos alimentares: uma breve revisão. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**, v. 8, n. 7, p. 14711-01, 29 set. 2022. Universidade Federal de Vicosa. <http://dx.doi.org/10.18540/jcecvl8iss7pp14711-01e>.

LI, Mengyuan; LI, Li; SUN, Binghua; MA, Sen. Interaction of wheat bran dietary fiber-gluten protein affects dough product: a critical review. **International Journal Of Biological Macromolecules**, v. 255, p. 128199, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128199>.

LIMA, Nathália Fernandes Correia. **GLUCANAS PRODUZIDAS POR MICRORGANISMO: POTENCIAL PREBIÓTICO.** 2019. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15888/1/NFCL25092019.pdf>. Acesso em: 02 out. 2023.

LIMA, Urgel de Almeida. **Matérias-primas dos Alimentos:** parte i: origem vegetal - parte ii: origem animal. São Paulo: Blucher, 2010. 424 p.

LIMBERGER, Valéria Maria *et al.* Extração de β -glucanas de cevada e caracterização parcial do amido residual. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2217-2223, dez. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/wBJ3HYrxR9q9G3p5PyXdCxq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 out. 2023.

LOPES, C.R.; QUEIROZ, A. M. de; SILVA, K. C. da; MENDES, E. C. S.; SILVÉRIO, B.C.; FERREIRA, M. M. P.. ESTUDO CINÉTICO DE DESIDRATAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE RESÍDUO DA INDÚSTRIA. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - Cobeq Ic 2015**, jun. 2015. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/chemeng-cobeqic2015-154-32572-248503>.

LYNCH, K.; STEFFEN, E.; ARENDT, E. Brewers' spent grain: A review with an emphasis on food and health. **Journal of the Institute of Brewing**, v.122, p.553-568, 2016.

KUNZE, Wolfgang. **Technology Brewing and Malting**. 3. ed. Berlin: VLB, 2004. 954 p.

MALLETT, John. **Malt: a practical guide from field to brewhouse**. Boulder: Brewers Publications, 2014. 228 p.

MARCHANT, Natalie. FOOD SECURITY: the world's food waste problem is bigger than we thought - here's what we can do about it. The worlds food waste problem is bigger than we thought - heres what we can do about it. 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/03/global-food-waste-solutions/#>. Acesso em: 08 dez. 2023.

MARSON, Gabriela Vollet; CASTRO, Ruann Janser Soares de; BELLEVILLE, Marie-Pierre; HUBINGER, Miriam Dupas. Spent brewer's yeast as a source of high added value molecules: a systematic review on its characteristics, processing and potential applications. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, v. 36, n. 7, 24 jun. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-020-02866-7>.

MARTINS, C.G.; MORAIS, S.M.; RODRIGUES, A.L.M.; TAVARES, C.D.A; LIMA, J.S.S. Identificação e quantificação de compostos bioativos do coproduto de cervejaria, bagaço de malte, e determinação da capacidade antioxidante. *Nutrivisa*. v.10: e10912. 2023. <https://doi.org/10.17648/nutrivisa-2023v10e10912>.

MASSARDI, Matheus Moreira; MASSINI, Rodrigo Manhães Motta; SILVA, Deusanilde de Jesus. 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. 0083-0091, 27 fev. 2020. Universidade Federal de Vicosa. <http://dx.doi.org/10.18540/jcecvl6iss1pp0083-0091>.

MELO, Priscilla Siqueira; BERGAMASCHI, Keityane Boone; TIVERON, Ana Paula; MASSARIOLI, Adna Prado; OLDONI, Tatiane Luiza Cadorin; ZANUS, Mauro Celso; PEREIRA, Giuliano Elias; ALENCAR, Severino Matias de. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 1088-1093, jun. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/C8XqRhhtwH4yZMyNQzZ9pHw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2023.

MF RURAL. **Alimentos para nutrição animal**: bagaço de cevada. Bagaço de Cevada. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/produtos/3-732/nutricao-animal-cevada-bagaço>. Acesso em: 06 nov. 2023.

MICHEL, M.R., DE LOS ÁNGELES VÁZQUEZ-NÚÑEZ, M., AGUILAR-ZÁRATE, M., WONG-PAZ, J.E., AGUILAR-ZÁRATE, P. (2023). Microencapsulation of Bioactive Compounds from Agro-industrial Waste. In: Aguilar Gonzalez, C.N., Gómez-García, R., Kuddus, M. (eds) Food Waste Conversion. Methods and Protocols in Food Science. Humana, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3303-8_3.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019. **Padrões de Identidade e Qualidade Para Os Produtos de Cervejaria**. Goiás, 11 dez. 2019. Seção 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-65-de-10-de-dezembro-de-2019-232666262>. Acesso em: 27 nov. 2023.

MOROSINI, Brenda Luiza; BORTOLUZZI, Júlia Nathalí; MÜLLER, Tainá Roberta. **INFLUÊNCIA DA SECAGEM DO BAGAÇO DE MALTE SOBRE O CONTEÚDO TOTAL DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE**. 2018. 41 f. Curso de Técnico em Agroindústria, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, São Miguel do Oeste, 2018.

MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, v. 43, n. 1, p. 1–14, 2006.

SANCTUARY BREWING COMPANY. **THE DIFFERENT SIZES OF BARRELS IN THE BREWING INDUSTRY**. 2022. Disponível em: <https://www.sanctuarybrewco.com/the-different-sizes-of-barrels-in-the-brewing-industry>. Acesso em: 06 nov. 2023.

MUSSATTO, S. I.; ROBERTO, I. C. Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 81, n. 3, p. 268–274, 2006.

OLEGÁRIO, Lary Souza. **PERFIL DE VOLÁTEIS, DE AROMA, DE VITAMINA E, ÁCIDOS GRAXOS EM ÓLEOS EXTRAÍDOS DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DE UVA (*Vitis spp.*) POR Prensagem a Frio**. 2016. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/16100/2/LARY_SOUZA_OLEGARIO.pdf. Acesso em: 30 out. 2023.

OLIVEIRA, Aline Pereira de. **RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE FARINHAS: UMA ESTRATÉGIA PARA APROVEITAMENTO**. 2018. 49 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnólogo de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15791/1/APO19092019.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2023.

PEÇANHA, Ricardo Pires. **SISTEMAS PARTICULADOS**: operações unitárias envolvendo partículas e fluidos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 424 p.

PESCHEL, Anne O.; ASCHEMANN-WITZEL, Jessica. Sell more for less or less for more? The role of transparency in consumer response to upcycled food products. **Journal Of Cleaner Production**, v. 273, p. 122884, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122884>.

REFOSCO, Eduarda Kaczuk; CHOCHUK, Mariana Mendes; GASPARETTO, Nayana Regina; MAZUR, Caryna Eurich. COMPOSTOS FENÓLICOS NA ALIMENTAÇÃO E SEUS BENEFÍCIOS PARA A SAÚDE: UMA REVISÃO DE LITERATURA. **Ciência Atual**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 02-09, 2019.

REZENDE, Yara Rafaella Ribeiro Santos. **OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO E OBTENÇÃO DE MICROCÁPSULAS DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA POLPA E RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DE ACEROLA**. 2016. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão,

2016. Disponível em:
https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/16101/2/YARA_RAFAELLA_RIBEIRO_SANTOS_REZEND E.pdf. Acesso em: 30 out. 2023.

RIGO, Maurício; BEZERRA, José Raniere Mazile Vidal; RODRIGUES, Diovana Dias; TEIXEIRA, Ângela Moraes. Avaliação físico-química e sensorial de biscoitos tipo cookie adicionados de farinha de bagaço de malte como fonte de fibra. **Ambiência**, v. 13, n. 1, p. 47-57, 2017. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2017.01.03>.

SANTIAGO, Paloma Paiva. **APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE MALTE COMO FONTE DE BIOATIVOS UTILIZANDO SOLVENTE EUTÉTICO PROFUNDO INTEGRADO A ULTRASSOM**. 2023. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química., Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/73308/5/2023_dis_ppsantiago.pdf. Acesso em: 06 nov. 2023.

ŠARIĆ, Goran. Possible applications of brewer's spent grain in the production of bread and pastry. **10Th International Congress Flour-Bread 2019 And 12Th Croatian Congress Of Cereal Technologists Brasno-Kruh**, Osijek, p. 65-76, jun. 2019.

SENAI, 2004, Rio de Janeiro. **APOSTILA CURSO TÉCNICO DE CERVEJARIA**. Rio de Janeiro. 800 p.

SHINOHARA, Neide Kazue Sakugawa; OLIVEIRA, Fábio Henrique Portella Corrêa de. **Desafios e estratégias para segurança alimentar mundial**. Campina Grande: Amplla, 2022. 2 v. Disponível em:
<https://books.google.com.br/books?id=orCFEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR>. Acesso em: 02 out. 2023.

SILVA, Klycia Fidelis Cerqueira e. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UM BISCOITO TIPO COOKIE FABRICADO A PARTIR DE RESÍDUO INDUSTRIAL DE CERVEJARIA**. 2016. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Estado de Mato Grosso Campus Cuiabá – Bela Vista, Cuiabá, 2016. Disponível em: https://cea.blv.ifmt.edu.br/media/filer_public/8c/f3/8cf34266-104e-487e-9dc5-6779b3f4323c/klycia_fidelis_cerqueira_e_silva.pdf. Acesso em: 01 out. 2023.

SINDICERV. Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja. **O setor em números: produção de cerveja por país entre 1990 a 2016.** Produção de cerveja por país entre 1990 a 2016. 2016. Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja. Disponível em: <https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>. Acesso em: 13 nov. 2023.

SOUZA, Pedro Gabriel Santos; ANDRADE, Wesley Vertuan de. **CARACTERIZAÇÃO DO AMARGOR DA CERVEJA EM MICROCERVEJARIAS DA CIDADE DE PONTA GROSSA - PR.** 2017. 53 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16587/1/PG_COENQ_2017_1_18.pdf. Acesso em: 07 dez. 2023.

TEREFE, Geberemariyam. Preservation techniques and their effect on nutritional values and microbial population of brewer's spent grain: a review. **Cabi Agriculture And Bioscience**, v. 3, n. 1, p. 1-2, 30 jul. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s43170-022-00120-8>.

THOMPSON, Iain J; OYSTON, Petra Cf; WILLIAMSON, Diane e. Potential of the β -glucans to enhance innate resistance to biological agents. **Expert Review Of Anti-Infective Therapy**, v. 8, n. 3, p. 339-352, mar. 2010. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1586/eri.10.10>.

UNEP. **Índice de Desperdício de Alimentos 2021.** 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorios/indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021>. Acesso em: 14 abr. 2023.

VIEIRA, MATHEUS CARDOSO. **Upcycling do resíduo cervejeiro: obtenção de um hidrolisado proteico com peptídeos bioativos.** 2021. 58 f. Dissertação (Mestrado). – Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

VILLACRECES, Salvador; BLANCO, Carlos A.; CABALLERO, Isabel. Developments and characteristics of craft beer production processes. **Food Bioscience**, v. 45, p. 101495, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101495>.

WILLAERT, Ronnie. Biochemistry of Beer Fermentation. **Food Biochemistry And Food Processing**, p. 627-653, 26 abr. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118308035.ch33>.