

UNIVERSIDADE ABERTA



UNIVERSIDADE
AbERTA
www.uab.pt

**SUSTENTABILIDADE ECONÓMICA E AMBIENTAL DOS SUBPRODUTOS DA
CERVEJA**

Sandra dos Santos Pestana

Mestrado em Ciências do Consumo Alimentar

2022

UNIVERSIDADE ABERTA



**SUSTENTABILIDADE ECONÓMICA E AMBIENTAL DOS SUBPRODUTOS DA
CERVEJA**

Sandra dos Santos Pestana

Mestrado em Ciências do Consumo Alimentar

Orientadores:

Professor Doutor Tiago A. Fernandes

Professor Doutor Fernando J. P. Caetano

2022



DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho.

Confirmando que não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Universidade Aberta, 27 de Junho de 2022

Assinatura: Isabel da Santa Rosa

Agradecimentos

Em primeiro lugar um agradecimento ao meu orientador Tiago Fernandes e ao coorientador Fernando Caetano, pelo apoio, orientação e encorajamento, que muito ajudaram, principalmente nesta fase pandémica que atravessamos, que nos obrigou a mudar o nosso padrão de vida e a nos reinventar para algo completamente novo e inesperado.

Aos entrevistados e inquiridos, que gentilmente contribuíram para a elaboração deste trabalho, através da partilha dos seus dados e das suas experiências.

À Empresa de Cervejas da Madeira e à Universidade Aberta, pela disponibilidade e prontidão.

Aos meus familiares e amigos, por todo o apoio, incentivo, e compreensão pelas ausências e falta de disponibilidade ao longo destes dois anos.

Obrigada a todos.

Resumo

Sustentabilidade Económica e Ambiental dos Subprodutos da Cerveja

A indústria cervejeira é responsável por gerar grandes quantidades de resíduos sólidos. A sua reutilização promove um dos princípios da economia circular, deitando por terra o modelo económico linear. Razões como a dependência dos combustíveis fósseis, as políticas económicas e ambientais e o crescimento demográfico incrementam a necessidade da adoção de procedimentos económicos e ambientalmente sustentáveis.

A reutilização tem como desafio criar uma cadeia de valor para estes resíduos, que apesar das suas elevadas potencialidades, por vezes são negligenciados, pouco valorizados, e descartados em aterros.

O principal objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento empírico, no que respeita à valorização dos subprodutos da cerveja, com vista a um processo rentável e ambientalmente sustentável.

Numa primeira fase apresenta uma revisão do processo de fabrico da cerveja e suas matérias-primas, assim como a identificação e caracterização dos principais resíduos sólidos, nomeadamente, *dreche* (bagaço de malte), *trub* (resíduos de lúpulo) e levedura excedente.

Numa segunda fase do documento, estão apresentadas as potenciais aplicações para valorização destes subprodutos. A título de exemplo, uma aplicação pode ter como destino a alimentação humana, uma vez que alguns destes subprodutos podem ser consumidos diretamente ou ser submetidos a tratamentos de forma a incrementar maior tempo de prateleira. Podemos encontrar estes subprodutos em forma de bolachas, suplementos, entre outros, ou utilizá-los para a extração de antioxidantes, proteínas, ou até mesmo de óleos essenciais. Na alimentação animal estes subprodutos podem ser misturados até 40% com outras farinhas, em forma de *pellets* ou farelo e utilizado na alimentação quer de ruminantes, como de galinhas, porcos e peixes. Existem estudos a comprovar que esta mistura melhora a qualidade da carne e a qualidade do leite, no caso dos ruminantes. Estes subprodutos também podem ser usados para a produção de energia

através da libertação de calor ou através da fermentação anaeróbica. O calor ou o biogás produzido, poderão ser utilizados na produção de energia elétrica, sendo uma alternativa amiga do ambiente. Atualmente, a tecnologia de polímeros está a crescer. O ácido láctico tem sido procurado para a produção do ácido polilático. Começam a surgir estudos para a utilização da *dreche* também na construção civil. Na construção de tijolos, foi possível verificar que este resíduo incrementa resistência mecânica e porosidade ao material. A compostagem dos terrenos com os subprodutos da cerveja, também se apresenta como uma mais-valia na fertilização dos terrenos agrícolas. Por último, temos a produção de carvão ativado, onde apenas pode ser usada a *dreche*. Esta, submetida a um processo de pirólise e ativação, dá origem a um excelente elemento filtrante, tanto para líquidos como para gases.

Apesar destas inúmeras possibilidades de reaproveitamento, todas com o seu valor e interesse, cabe ao produtor adequar o melhor método à sua realidade. A Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) alerta para a importância de uma escolha ponderada, pois estas medidas, muitas vezes, carecem de investimentos, cujo retorno económico poderá tardar.

Por fim, numa terceira parte e através de uma pesquisa exploratória, foi possível apurar que grande parte dos produtores de cerveja portugueses entrevistados reutilizam os seus subprodutos para ração animal ou para compostagem. Apesar da consciência de que estas práticas sustentáveis podem reverter como fortes estratégias de marketing junto do consumidor final, certo é que também não estão acessíveis outras formas de valorização, quer seja pelas quantidades produzidas, por dificuldades de acondicionamento destes resíduos, ou por questões económicas. Já em relação aos consumidores de cerveja, mediante ao recurso de um inquérito por questionário, foi possível apurar que parte destes estão sensíveis a estas questões da sustentabilidade e estão dispostos a assumir até 5% do valor unitário por uma cerveja ambientalmente sustentável.

Palavras-chave: Sustentabilidade, cerveja, economia circular, subprodutos, valorização dos subprodutos, *dreche*, *trub*, levedura, levedura excedente.

Abstract

Economic and Environmental Sustainability of Beer By-products

The brewing industry generates a substantial amount of solid waste. Its reuse promotes one of the circular economy concepts, overthrowing the linear economic model. Dependence on fossil fuels, environmental and economic policies, and population growth all enhance the demand for more cost-effective and environmentally sustainable procedures.

The difficulty and challenge of reuse is to establish a value chain for these wastes, which are frequently neglected, devalued, and disposed in landfills despite their enormous potential.

The main purpose of this dissertation is to pursue empirical research beer by-product appreciation in order to develop a profitable and environmentally sustainable procedure.

It begins with a review of the beer manufacturing process and raw materials, followed by the identification and characterization of the main solid residues, such as drecche, trub, and residual yeast.

In the second part of this thesis, potential uses for recovering these byproducts are discussed. Among the examples discussed, human food, may be consumed directly or be subjected to treatments to improve shelf life. We can find these by-products in the form of cookies and supplements, among others, or use them for the extraction of antioxidants, proteins, and even essential oils. These by-products can be mixed up to 40% with other flours in animal feed, in the form of pellets or bran, to feed ruminants, chickens, pigs, and fish. According to studies, this mixture improves the quality of the meat and, in the case of ruminants, the quality of the milk. These byproducts can also be used to produce energy by releasing heat or anaerobic fermentation. The heat or biogas produced can be used to generate energy, providing an environmentally friendly solution. Polymer technology is

currently growing, and lactic acid has been sought after to produce polylactic acid. Studies began to emerge in the sense of using the dreche in civil construction as well. It was possible to demonstrate that this residue increases mechanical resistance and porosity in bricks. Composting land with beer by-products, is also beneficial in fertilizing agricultural land. Finally, we have the production of activated carbon, which can only be used dry. It undergoes pyrolysis and activation, resulting in an excellent filtering element for both liquids and gases.

Despite of the numerous reuse possibilities, each with their own value and interest, it is up to the producer to adapt the best way to his own circumstance. The European Food Safety Authority (EFSA) emphasizes the necessity of making an informed decision, as these measures frequently lack investments, resulting in a delayed economic return.

Finally, an exploratory study in a third section confirmed that the majority of the Portuguese beer manufacturers interviewed reuse their by-products for animal feed or composting. Despite the awareness that these sustainable activities can be turned into effective marketing strategies for the final consumer, it is certain that other types of recovery are also unavailable, either due to the amounts produced, challenges in packaging these wastes, or economic reasons. Using a questionnaire survey, it was possible to ascertain that a percentage of beer consumers are sensitive to these sustainability issues and are willing to assume up to 5% of the unit value for an environmentally sustainable beer.

Keywords: Beer, sustainability, circular economy, by-products, appreciation of by-products, dreche, trub, yeast, surplus yeast.

Índice Geral

	Pág.
Declaração de Integridade	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
<i>Abstract</i>	vii
Índice Geral	ix
Índice Figuras	xi
Índice Tabela	xiii
Introdução	1
1. Produção de Cerveja	7
1.1 O Início	7
1.2 Matéria-prima	8
1.2.1 Malte	9
1.2.2 Água	14
1.2.3 Lúpulo	15
1.2.4. Levedura	16
1.3 Processo de Produção de Cerveja	18
1.3.1 Maltagem	19
1.3.2 Brassagem	21
1.3.2.1 Moagem	22
1.3.3.2 Preparação do mosto	23
1.3.3.3 Filtração do mosto	25
1.3.3.4 Ebulição	26
1.3.3 Decantação (remoção da <i>trub</i>)	27
1.3.4 Arrefecimento do mosto	28
1.3.5 Arejamento do mosto	28
1.3.6 Fermentação	28
1.3.7 Maturação e filtração	32
2. Legislação e o Sistema de Gestão Ambiental	35
3. Subprodutos da Produção de Cerveja	39
3.1 Bagaço de malte (<i>dreche</i>)	40
3.1.1 Principais utilizações da <i>dreche</i> como matéria-prima	44
3.1.1.1 Nutrição Animal	45
3.1.1.2 Nutrição Humana	48

3.1.1.3	Aplicação das fibras lignocelulósicas	50
3.1.1.4	Produção de energia através da fermentação anaeróbica	52
3.1.1.5	Produção de energia através da combustão	54
3.1.1.6	Produção de Carvão Ativado	55
3.1.1.7	Dreche nos materiais da construção civil	55
3.1.1.8	Outras aplicações	56
3.2	Resíduos e partícula de Lúpulo (<i>trub</i>)	56
3.2.1	Principais utilizações da <i>trub</i> como matéria-prima	57
3.3	Resíduo de Levedura	58
3.3.1	Principais utilizações do resíduo de levedura como matéria-prima	60
4.	Trabalho realizado	64
4.1	Relevância do Trabalho	64
4.2	Estratégia Metodológica	64
4.3.	Produtores e os seus Subprodutos	65
4.4	Resultados e discussões	68
4.4.1	Identificação e quantificação dos subprodutos	68
4.4.2	Visão geral do destino final dos subprodutos	69
4.4.3	Investimentos e retorno económico	72
4.4.4	Motivações e barreiras	74
5.	Consumidores de cerveja e a perceção da sustentabilidade dos subprodutos	77
5.1	Estratégia metodológica	77
5.2.	Análise Estatística	78
5.3	Caracterização da amostra	79
5.4	Resultados e Discussão	80
5.4.1	Relação entre variáveis	85
6.	Conclusões	89
7.	Bibliografia	92
8.	Anexos	109

Índice das Figuras

	Pág.
Figura 1.1: Localização dos componentes do grão de cevada (malte)	11
Figura 1.2: Estrutura detalhada de um grão de cevada	13
Figura 1.3: Composição do amido: amilopectina e amilose	13
Figura 1.4: Estruturas de ácidos alfa de lúpulo	16
Figura 1.5 a): Fotografia microscópica de leveduras de cerveja	17
Figura 1.5 b): Representação esquemática de uma célula de levedura em reprodução	17
Figura 1.6: Diagrama do processo de fabrico de cerveja, com os principais subprodutos	19
Figura 1.7: Vários tipos de malte	20
Figura 1.8: Crescimento da Plúmula e da Radícula ao longo da germinação do grão de cevada	21
Figura 1.9: Início da moagem do grão	22
Figura 1.10: Início da empastagem (junção da água e do cereal)	23
Figura 1.11: Hidrólise do amido durante preparação do mosto	24
Figura 1.12: Isomerização do α -ácidos (humolones) em iso- α -ácidos (iso humolones)	27
Figura 1.13: Resumo esquemático da fermentação alcoólica	29
Figura 1.14: Fermentação da cerveja. Esquema de uma célula de levedura no mosto assimilando glicose para produzir subprodutos da fermentação etanol e CO ₂ ; o O ₂ é assimilado para produzir as componentes da membrana	30
Figura 1.15: Diagrama da fermentação alcoólica	31
Figura 3.1: Balanço de massa dos consumíveis da Cervejeira Unicer por m ³ de cerveja produzida	40
Figura 3.2: Resíduo de dreche à saída do processo	41
Figura 3.3: Formação da cadeia de celulose pela união de unidades β -D-glucose	43
Figura 3.4: Representação esquemática de biomassa lignocelulósica	44
Figura 3.5: Dreche com destino à alimentação animal. Os valores são medidos em kg/hL de cerveja produzida	45
Figura 3.6: Estrutura química dos principais compostos fenólicos da dreche. a) ácido ferúlico; b) ácido coumárico; c) ácido sinápico; d) ácido cafeico	50
Figura 3.7: Biocombustíveis obtidos a partir de microrganismos, tendo como substrato biomassa	53
Figura 3.8: Amostra de <i>trub</i> , à saída do processo de fabrico	57
Figura 4.1: Universo cervejeiro registado em Portugal em 2021	66
Figura 4.2: Distribuição das 100 cervejeiras portuguesas agrupados por regiões	66
Figura 4.3: Processo produtivo da cerveja, com representação esquemática da recuperação da <i>trub</i>	70

Figura 5.1: Aspetos mais valorizados numa empresa produtora de cerveja. Número de amostras por ordem decrescente (N): Produto, N = 137; Sustentabilidade, N = 62; Marca, N = 53; Certificação ambiental, N = 48; Marketing, N = 22

82

Figura 5.2: Disposição por parte do consumidor em pagar mais por uma cerveja sustentável

84

Índice das Tabelas

	Pág.
Tabela 1.1: Principais constituintes químicos do malte	12
Tabela 3.1: Composição da dreche de acordo com dados bibliográficos	42
Tabela 3.2: Potenciais aplicações da dreche de acordo com os dados bibliográficos	46
Tabela 3.3: Principais aplicações da levedura excedente com base nos dados bibliográficos	60
Tabela 4.1: Caracterização e classificação das cervejeiras em estudo	67
Tabela 4.2: Identificação e quantificação dos subprodutos da amostragem	68
Tabela 5.1: Caracterização sociodemográfica (N = 178)	79
Tabela 5.2: Em que circunstâncias costuma consumir cerveja?	80
Tabela 5.3: Onde costuma comprar?	81
Tabela 5.4: Frequência de compra	81
Tabela 5.5: Qual estilo de cerveja que consome com mais frequência?	82
Tabela 5.6: Quais os fatores que mais influenciam na decisão de comprar?	83
Tabela 5.7: Está disposto a pagar mais por uma cerveja sustentável?	84
Tabela 5.8: Quanto estaria disposto a pagar a mais?	84
Tabela 5.9: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Género	85
Tabela 5.10: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Idade	86
Tabela 5.11: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Sustentabilidade numa empresa produtora de cerveja	86
Tabela 5.12: Correlação entre Disposição de Pagar mais e a Valorização da sustentabilidade no ato da compra	87
Tabela 5.13: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Certificação Ambiental	87

Introdução

O conceito de Desenvolvimento Sustentável surge em 1987, com a apresentação do *Relatório Brundtland*. Este documento, produzido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, definiu-o como sendo “*aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as futuras gerações atenderem a suas próprias necessidades*” (United Nations, 1987).

Passadas três décadas, urge a necessidade da definição de objetivos económicos, ambientais e sociais concretos. Estas razões constituem algumas das demandas e prioridades para os governantes a nível mundial, uma vez que o nosso Planeta se apresenta num nível crítico no que diz respeito aos recursos naturais e ambientais existindo um aumento dessa consciencialização. Grande quantidade de resíduos que são produzidos anualmente em todo o mundo são gerados a partir de produtos agrícolas e da indústria alimentar. Embora sejam naturalmente degradáveis, o seu descarte no meio ambiente acarreta, por um lado impactos económicos e por outro, transtornos no ecossistema, não só pela elevada quantidade em que são produzidos, mas também pelo seu valor nutricional e concentração de compostos orgânicos (Mathias *et al.*, 2014).

Na Cimeira das Nações Unidas para 2030, um dos objetivos é a erradicação da pobreza e da fome, através do desenvolvimento sustentável. Este objetivo é transversal a todos os países participantes desta cimeira, inclusive Portugal. Têm emergido diretrizes, para elaborar e implementar políticas de utilização eficiente dos recursos e de gestão ambientalmente racional dos resíduos (V. M. Oliveira & Navega, 2017).

O governo português, no Decreto-Lei 73/2011, também considera “*prioritário reforçar a prevenção da produção de resíduos e fomentar a sua reutilização e reciclagem com vista a prolongar o seu uso na economia antes de os devolver em condições adequadas ao meio natural*”. Considera igualmente importante “*promover o pleno aproveitamento do novo mercado organizado de resíduos como forma de consolidar a valorização dos resíduos, com vantagens para os agentes económicos, bem como estimular o aproveitamento de resíduos específicos com elevado potencial de valorização*”.

A atividade industrial, inevitavelmente, produzirá sempre alguns tipos de subprodutos, sejam resíduos sólidos, águas residuais ou poluição gasosa. Torna-se, portanto, imperativo redesenhar processos, recuperar resíduos orgânicos, reutilizar embalagens, utilizar energias renováveis, fazer uma melhor gestão do consumo de água e produção de águas residuais, apelar ao consumo responsável, entre outras abordagens no sentido de aplicação de uma estratégia ecologicamente eficiente e verdadeiramente sustentável (Bolwig *et al.*, 2019; Olajire, 2012). As vastas quantidades em que os resíduos são gerados obrigam a indústria a reinventar-se para os reduzir e/ou potenciar.

Embora já se produza cerveja há milhares de anos, só no século XIX é que se começou a entender e dominar o seu processo. Até então, o processo de transformação de mosto de cevada era dádiva dos Deuses sumérios, da época (Hornsey, 2003). Foi em 1876 que foi publicado o *Études sur la bière*, no qual Louis Pasteur demonstrou que as leveduras eram as responsáveis pela fermentação (Pasteur, 1876). Desde então adotaram-se novas técnicas de produção e metodologias que concederam à cerveja maior durabilidade, qualidade e conseqüentemente maior produtividade. Como consequência da evolução tecnológica, foram surgindo grandes indústrias multinacionais que muito contribuíram para a sobrecarga dos ecossistemas.

A agroindústria apresenta-se como a principal atividade da produção industrial nacional com 14,5% do total das vendas em 2017 (INE, 2018). A indústria cervejeira apresentara-se como fundamental na economia deste sector, contribuindo com um volume de vendas de 24,3% (INE, 2018). Na escala mundial, em 2018, a produção de cerveja foi estimada em 186,6 milhões de litros, segundo dados da FAO (2020). Em 2019, mais de 34 mil milhões de litros de cerveja foram produzidos na União Europeia (EU), de acordo com as últimas estatísticas de produção do Eurostat. A produção de cerveja da União Europeia (EU) foi equivalente a cerca de 77 litros *per capita* (Eurostat, 2020).

Este consumo mundial e o atual modelo de produção em larga escala, acarretam inevitavelmente a produção de subprodutos ao longo do processo de fabrico e durante todo o ano (Karlović *et al.*, 2020). Os subprodutos mais comuns, provenientes das matérias-primas da cerveja são o bagaço de malte (*dreche*), o lúpulo gasto (*trub*) e levedura

excedente (S. Mussatto, 2009). O processo proporciona também a produção de águas residuais, de CO₂, além de outros resíduos como, rótulos, embalagens e vidro, nas diversas partes do processamento.

Segundo Kao (2016), a *dreche* representa 85% do total de resíduos inerentes às matérias-primas, que equivalem a aproximadamente 38,6 milhões de toneladas em todo o mundo (S. Mussatto, 2014). Em Portugal Continental, são responsáveis por mais de 97 mil toneladas por ano (Creto, 2018), valor que se aproxima das 100 mil toneladas se acrescentarmos as cervejeiras da Ilha dos Açores e da Madeira, segundo o Eng.º Nuno Branco, Cervejeiro e Diretor de Produção na Empresa de Cervejas da Madeira (ECM). A levedura excedente é o segundo subproduto mais produzido, pois representa 15% do total de subprodutos gerados, contabilizando 125.000 toneladas/ano na Europa (Gómez, n.d.).

Atualmente as cervejeiras demonstram um crescente interesse na valorização dos seus resíduos orgânicos, reconhecendo o valor e a importância de aumentar as práticas de sustentabilidade, de forma a reduzir as emissões de carbono e conservação de recursos para o benefício do meio ambiente. Processos tais como: aumentar a eficiência energética, utilizar tecnologias que permitam reduzir o consumo energético, assim como aferir processos de forma a maximizar as potencialidades das matérias-primas, podem resultar numa economia anual substancial.

Assim promove-se o conceito da economia circular. Lacy & Rutqvist (2015) acreditam que esta pode ser uma ferramenta estratégica para rentabilizar a produção e reorganizar o consumo da economia global. Esta surge como um novo paradigma, onde as relações entre mercados, clientes e recursos naturais ganham outra dimensão. Na economia circular os recursos nunca devem ser transformados em resíduos, mas sim mantidos no processo durante o maior tempo possível e com a mínima perda de qualidade (Tiozzi *et al.*, 2019). Trata-se de eliminar o próprio conceito de "desperdício" e reconhecer que tudo tem um valor (Lacy & Rutqvist, 2015).

Por outro lado, a economia circular pode-se converter numa poderosa ferramenta de marketing para cervejeiras que procurem vantagens competitivas, seja pela diferenciação do produto, como sugeriu Porter em 1985 (Porter, 1985), pela inovação,

posicionamento, segmentação, mercado alvo ou até mesmo por estratégias de comunicação, apelando por consumidores ecologicamente conscientes (Sloane, 2012). No entanto, percorrer este caminho não é fácil. Estão patentes vários obstáculos entre as cervejarias e a sustentabilidade/economia circular, dos quais, os mais significativos são os problemas de produção e o investimento de capital (Bolwig *et al.*, 2019), tanto na eficiência energética como nos equipamentos e recursos humanos.

Esta nova visão, juntamente com a quantidade dos resíduos de cerveja e o seu valor nutricional, tem estimulado o interesse no desenvolvimento de novos caminhos de valorização em alternativa ao seu uso tradicional, como ração animal, para o caso da *dreche*, e a rejeição nos campos ou mesmo a inceneração (Karlović *et al.*, 2020), como destino final para a *trub* e levedura. Vários estudos apontam para a valorização no ramo da biotecnologia, farmacêutica, na indústria de alimentos, produção de biocombustíveis, etc. (Karlović *et al.*, 2020; S. Mussatto, 2014). Porém, poucos se referem à escala industrial (Aliyu & Bala, 2011), assim como a aceitação por parte do consumidor e a qualidade final do produto (S. Mussatto, 2014).

Segundo o artigo 44.º-A do Decreto-Lei n.º 178/2006, o conceito de subproduto é aplicável a substâncias ou objetos que resultam de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção (resíduo de produção), e que são utilizados diretamente, sem qualquer outro processamento, que não seja o da prática industrial normal e que respeitem estas quatro condições (DRE, n.d.):

- a) Existir a certeza de posterior utilização da substância ou objeto;
- b) A substância ou objeto poder ser utilizada diretamente, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal;
- c) A produção da substância ou objeto ser parte integrante de um processo produtivo;
- d) A substância ou objeto cumprir os requisitos relevantes como produto em matéria ambiental e de proteção da saúde e não acarretar impactes globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica.

Por tudo isto, este trabalho apresenta uma revisão dos subprodutos da indústria cervejeira, descrevendo como eles são obtidos no processo produtivo, a sua caracterização e composição química, assim como as suas potencialidades. Procura descrever a melhor forma de rentabilizar o processo, assim como, acrescentar valor e contemplar a sustentabilidade ambiental. Para tal, foram traçados como objetivos específicos:

- I) Analisar o processo de produção de cerveja de modo a identificar os seus subprodutos;
- II) Aferir de que forma as indústrias cervejeiras estão a tratar/otimizar esses subprodutos e quais os métodos mais rentáveis de reaproveitamento;
- III) Analisar e avaliar em que medida os consumidores estão disponíveis a pagar mais na compra de uma cerveja em prol da sustentabilidade dos seus subprodutos;
- IV) Avaliar se os produtores estão dispostos a assumir os custos associados à recuperação e tratamento dos seus subprodutos e se têm incentivos monetários externos para estes fins.

Capítulo I



1. Produção de Cerveja

1.1 O Início

A cerveja é a bebida fermentada mais antiga do mundo. Sabe-se que é uma arte ancestral que remonta o período neolítico, fortemente enraizada nos hábitos culturais dos nossos antepassados (Katz & Voigt, 1986; Meussdoerffer, 2009; Perruchini *et al.*, 2018). Os registos históricos e etnográficos evidenciam o seu valor e importância (Katz & Voigt, 1986). No entanto, não é fácil perceber como surgiu, assim como, quem a desenvolveu. Pensa-se que por acidente, uma mistura de cereal e água ao ar livre originou um produto ao qual lhe deram inicialmente o nome de “sopa de cereal”. Os primeiros registos da produção de cerveja estão associados às civilizações da antiga Mesopotâmia, 6000 a.C., em língua suméria (usando símbolos chamados cuneiformes) (Hardwick, 1994), onde a cevada crescia de forma selvagem. Os documentos sumérios mencionam frequentemente a cerveja, especialmente no contexto das ofertas nos templos e como um veículo para administração de ervas medicinais aos doentes (Muxel, 2017).

Acredita-se que a fabricação de cerveja rapidamente se difundiu da região da Mesopotâmia ao Egito. A cerveja tornou-se numa bebida comum no Egito, e sem barreiras hierárquicas, desde o Faraó aos camponeses. Prova disso foi a recente descoberta feita por uma equipa de arqueólogos americanos e egípcios, de uma instalação de produção de cerveja, no sul do Egito, com uma capacidade de produção de aproximadamente 22 mil litros por lote, que data 3000 a.C. - notícia avançada pela Universidade de *Princeton* (Office, 2021).

O “*Codex Hammurabi*” (Babilónia 1770 a.C.) já continha regulamentos relativos à qualidade da cerveja, assim como, punições estritas para os adulteradores de cerveja, que a diluíam para fazer render. Os egípcios refinaram ainda mais a arte da produção de cerveja, assim como estabeleceram requisitos legais (Eßlinger & Narziß, 2012).

Antes da Era Cristã a cerveja já era produzida pelos povos do norte da Europa. No entanto não se percebe se esta arte chegou do Médio Oriente, atual território Iraquiano ou se o povo germânico a descobriu de forma independente (Muxel, 2017). Sabe-se

também que era uma função atribuída apenas às mulheres que, diariamente nas culturas primitivas, tinham a função de produzir cerveja e pão (Kunze, 2010).

A expansão definitiva da cerveja deu-se com o Império Romano, que se encarregou de a divulgar pelos países vizinhos. Júlio César era um grande admirador da cerveja e a ele é atribuída a introdução da cerveja entre os britânicos e gauleses (hoje franceses) (Müller, 2002).

Foi então que a cerveja ganhou o seu nome definitivo. Os gauleses denominavam-na de “*cerevisia*”, em homenagem a Ceres, Deusa da agricultura e da fertilidade. Percebe-se que a expressão latina “*cervesiam bibere*” deu origem as palavras “*bière*”, “*bier*”, “*beer*”, que perduram até os dias de hoje em várias línguas (Müller, 2002).

Já na Idade Média, os mosteiros e abadias tomaram posse da produção de cerveja, muito utilizada nos períodos de abstinência dos monges e como forma de pagamento (Kunze, 2010; Nelson, 2005). Por conseguinte no século VII, através desses mosteiros instalados por toda a Europa, inicia-se a produção e comercialização de cerveja numa maior escala (Nelson, 2005).

Durante vários séculos, essa produção em escala, muito embora artesanal, foi suficiente para responder à procura. No entanto, a divulgação e aceitação ao longo de sua história tornaram-na uma das bebidas mais apreciadas e consumidas no mundo, que com a Revolução Industrial, passou a ter um processo industrial consistente (Mathias *et al.*, 2014). Essa característica mantém-se nos dias de hoje, uma vez que o mercado da cerveja continua a desenvolver tecnologias modernas para atender à contínua procura.

1.2 Matéria-prima

Segundo a Legislação Portuguesa, **Portaria n.º 1/96**, a cerveja é uma bebida obtida por fermentação alcoólica, que tem por base um mosto feito a partir da água potável, lúpulo e maltes de cereais, especialmente cevada, e outras matérias-primas amiláceas ou açucaradas. Este preparado na presença de leveduras selecionadas, por exemplo do género *Sacharomyces*, fermenta e dá origem a cerveja. Esta portaria também esclarece que

poderão ser considerados matérias-primas produtos hortícolas ou plantas aromáticas, frutas, ou os respetivos sumos, concentrados ou extratos, até ao máximo de 10% em volume do produto final, assim como aromas legalmente autorizados (DRE, 1996).

Apesar das matérias-primas básicas da cerveja permanecerem inalteradas desde há muito tempo, hoje o termo cerveja expandiu-se e é utilizado para uma infinidade de bebidas de aparência e sabor distintos, direcionados para nichos de mercado específicos, desde: cervejas sem álcool, artesanais, cervejas com diferentes substâncias amargas, com frutas, especiarias ou até mesmo plantas aromáticas (Boulton & Quain, 2001; Karlović *et al.*, 2020). Da mesma forma o processo produtivo tem sido aprimorado, a tecnologia tornou-se mais sofisticada, de forma a acompanhar esta diversificação e a procura do mundo atual.

Em 1493, o Duque Albrecht IV foi o autor da Lei *Reinheitsgebot*, também conhecida pela lei da pureza da cerveja, cujo objetivo foi regulamentar a produção de cerveja. Já nesta época, a norma determinou o uso de apenas três ingredientes: água, malte de cevada e lúpulo. A levedura foi posteriormente incluída na receita, pois na data não era conhecida (Boulton & Quain, 2001). Até há bem pouco tempo, a Alemanha ainda se regia por estas normas sendo que qualquer adulteração da cerveja era punida por lei. Seguindo esta lógica da lei da pureza, serão estas as principais matérias-primas para a produção de cerveja, na qual esta dissertação se focará:

- 1) Malte;
- 2) Água;
- 3) Lúpulo;
- 4) Levedura.

1.2.1 Malte

A utilização do grão de cevada *per si* na produção de cerveja não é adequada para o aproveitamento das potencialidades do grão. A falta de enzimas e de friabilidade, produz um extrato altamente viscoso, sem cor nem sabor, pobre em aminoácidos (Albini *et al.*,

2018; Lodolo *et al.*, 2008). Por estes motivos o grão é submetido ao processo de maltagem, que veremos mais à frente.

A cevada é o grão mais utilizado na indústria cervejeira (Worku *et al.*, 2017). É dotado de características morfológicas e nutricionais essenciais para a produção de cerveja, sendo por esta razão, a principal matéria-prima (Lynch *et al.*, 2016). É responsável, não só pela disponibilidade dos açúcares, mas também pela cor, textura e sabor da cerveja (Adeolu, 2015). Apresenta várias vantagens em relação aos outros grãos que podem ser usados para a maltagem. Segundo Eßlinger e Narziß (2012) o processo de germinação resultante da maltagem é muito mais eficiente neste cereal, ou seja, a germinação desencadeia-se mais rapidamente e em maior percentagem de grãos, para além de possuir elevado poder diastático, característica importante para a utilização de outras matérias-primas amiláceas não maltadas (D'Avila *et al.*, 2012). A estas vantagens pode-se acrescentar o fato de ser uma matéria-prima abundante, cultivada universalmente, de baixo custo e elevado rendimento económico. Pertence à família das gramíneas, de onde podemos distinguir duas espécies importantes: cevada dística (*Hordeum distichon*) e cevada hexástica (*Hordeum vulgare*). Diferem entre si através dos critérios fisiológicos e morfológicos, como por exemplo no número de grãos que se dispõem por fileira ao longo da espiga (Eßlinger & Narziß, 2012). A cevada dística é constituída por fileiras de dois grãos, o que faz com que estes se disponham de forma simétrica e adquiram dimensões homogêneas. Estes grãos são de maiores dimensões, contêm um maior teor de amido, casca fina e menor teor de proteína, sendo por estes motivos a espécie mais utilizada na Europa para o processo de maltagem (Pinto, 2013). As suas características nutricionais e morfológicas, como a resistência da casca, o tamanho e a sua uniformidade proporcionam também um excelente rendimento e um fácil manuseio em escala industrial (Worku *et al.*, 2017).

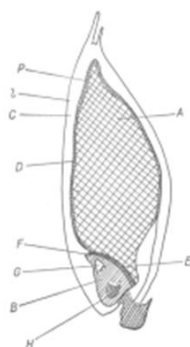
O grão de cevada pode ser dividido sobretudo em três partes: endosperma, embrião e casca (ver na figura 1.1):

A) O endosperma constitui a maior parte do grão. É onde se encontram as substâncias de reserva da planta, fundamentais para a posterior formação do extrato solúvel na elaboração do mosto;

B) O embrião é onde residem as funções vitais. É responsável pela germinação, que de modo controlado, permite obter a cevada maltada, comumente conhecida por malte. Durante a maltagem, o embrião produz ácido giberélico que ajuda as células a produzir enzimas, essenciais para degradar a parede celular e alguns componentes do endosperma, em particular os grânulos de amido (Briggs, 2002; Rodrigues *et al.*, 2015);

C) A casca é a camada mais externa, rígida e insolúvel. Protege o grão contra influências atmosféricas danosas e possibilita a formação de uma camada filtrante durante a clarificação do mosto e é responsável por grande parte dos subprodutos do processo de fabrico (Pinto, 2013).

Malte Lager (Pils)



- A** – Endosperma
- B** – Embrião
- C** – Casca (pericarpo e testa)
- D** – Aleurona
- E** – Células em paliçada
- F e G** – Escutelo
- H** – Radícula

Figura 1.1: Localização dos componentes do grão de cevada (malte) (Harris, 1962).

Tal como mencionado, o grão de cevada é rico em açúcares. É também uma fonte de enzimas, proteínas, lípidos, vitaminas e minerais (Hespanhol, 2010; Worku *et al.*, 2017). A tabela 1.1 destaca os compostos químicos, ou famílias de compostos, mais relevantes no processo de produção de malte para cerveja (Pinto, 2013).

Tabela 1.1: Principais constituintes químicos do malte.

Casca	Camada de Aleurona	Endosperma	Embrião
Celulose Hemicelulose Compostos fenólicos Sílica	Lípidos Açúcares Proteínas Fosfatos (ácido fítico) Enzimas Vitamina B Minerais Beta- glucanas Pentosanas	Amido Proteínas Beta-glucanas Pentosanas	Lípidos Açúcares Proteínas Ácido giberélico Vitamina B Minerais (potássio e magnésio)

Adaptado de: Pinto, 2013.

Na cerveja, o amido é basilar na formação do extrato solúvel do mosto (Pinto, 2013). É o principal constituinte do endosperma e o mais abundante, como podemos verificar na Figura 1.2. Corresponde a 50-75% do grão, dependendo da espécie e do meio ambiente em que é cultivado (Novack, 2010). É um polissacárido complexo $(C_6H_{10}O_5)_n$ que serve de substância de reserva do cereal. É composto por dois tipos de macromoléculas (Fig. 1.3):

- Amilose – É um polímero de cadeia longa com algumas ramificações laterais, composta por moléculas de glucose com ligações α -1,4, que constituem 20 a 25% de todo o amido (Gous & Fox, 2017);
- Amilopectina – É constituída por uma cadeia de glucoses com ligações α -1,4 com numerosas ramificações de α -1,6 (Gous & Fox, 2017; Harris, 1962).

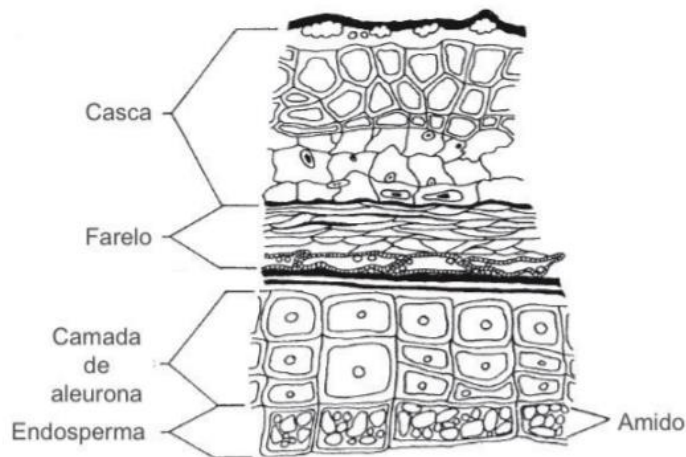


Figura 1.2: Estrutura detalhada de um grão de cevada (Rodrigues et al., 2015).

As enzimas α -amilase, β -amilase, α -glucosidase, isoamilase e limite dextrinase presentes na camada aleurona são responsáveis por quebrar algumas das ligações α -1,4 da amilose, originando alguns oligossacarídeos e moléculas de tetra-metilglucose por vinte e sete unidades de glicose, sendo que o polissacarídeo inteiro origina cerca de 1.300 unidades de glicose (Harris, 1962).

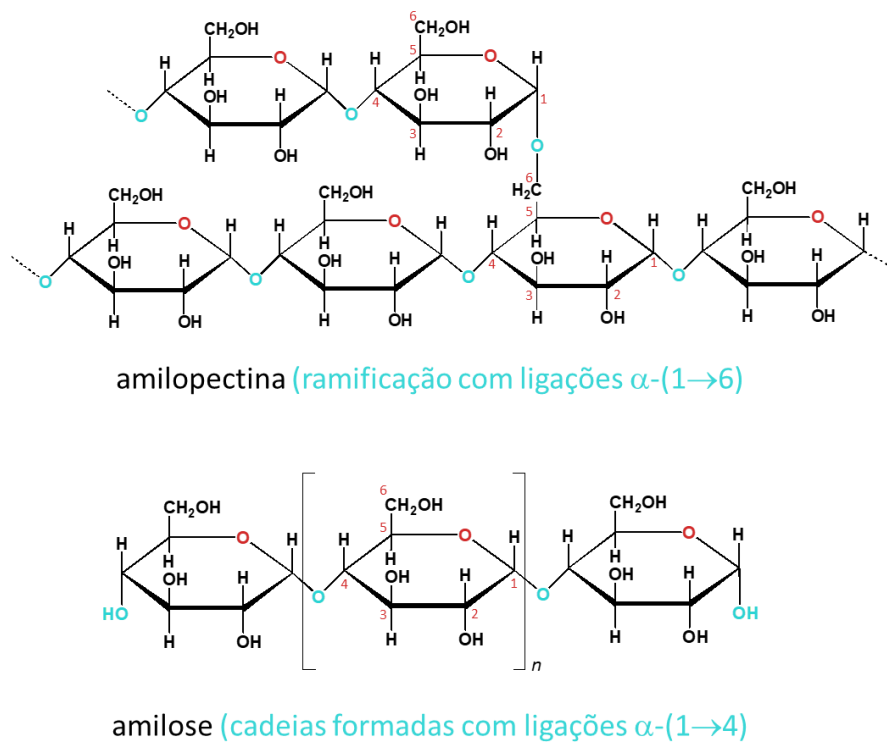
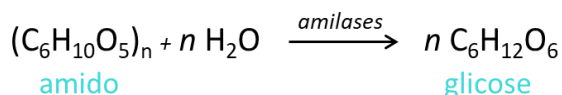


Figura 1.3: Composição do amido: amilopectina e amilose. Adaptado (Harris, 1962).

Esta hidrólise do amido em açúcares fermentáveis, processo também conhecido por sacarificação, é fundamental para o processo de fermentação, onde, na presença de enzimas, o amido é convertido em monossacarídeos fermentáveis (Boulton & Quain, 2001; Rosa & Afonso, 2015), cujo processo se representa:



As proteínas também têm um papel importante na produção de cerveja. Na presença de enzimas proteolíticas (proteases) dá-se a rotura das suas ligações peptídicas, através da reação química hidrólise, que disponibiliza a sua unidade básica, os aminoácidos e péptidos, que servem de alimento à levedura durante a fermentação do mosto (Pinto, 2013). Por outro lado, contribuem para as características sensoriais da cerveja como o sabor e a cor e para o seu valor nutricional.

As enzimas são moléculas de natureza proteica, cuja função é catalisar reações químicas, como a hidrólise das proteínas e do amido (Pinto, 2013). Por esta razão têm um papel fundamental no fabrico de cerveja. São responsáveis pela transformação das substâncias insolúveis presentes no endosperma da cevada em substâncias solúveis durante o processo de maltagem e de produção de cerveja (Albini *et al.*, 2018). As enzimas mais importantes para a produção de malte e cerveja são hemicelulases, enzimas proteolíticas, amilases e fosfatases (Eßlinger & Narziß, 2012).

1.2.2 Água

Quantitativamente a água é a principal matéria-prima utilizada na produção de cerveja e representa cerca de 92-95% da sua composição em massa (D'Avila *et al.*, 2012). É determinante na qualidade e no sabor do produto final (Adeolu, 2015; Rosa & Afonso, 2015). A sua característica iónica tem uma grande influência na qualidade do processo de fermentação (Boulton & Quain, 2001). As características e qualidade da água foram em tempos responsáveis pelo aparecimento de diferentes tipos de cerveja que se

desenvolveram em diferentes regiões (Boulton & Quain, 2001). A sua composição química é altamente influenciada pela geologia da região de origem.

A água utilizada no processo de produção de cerveja, quer seja no fabrico de mosto ou na diluição da cerveja, deverá ser água destinada ao consumo humano, isto é, deverá cumprir os requisitos legais, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 306/2007. Segundo este Decreto-Lei, a água destinada ao consumo humano deve ser salubre, limpa, isenta de microrganismos patogénicos e desejavelmente equilibrada na sua composição (Decreto-Lei n.º 306/2007, 2007).

As cervejeiras são grandes consumidoras de água. Para além da água que entra diretamente no processo, quase todas as etapas do processo usam água, com grandes consumos, principalmente na fase de enchimento e na limpeza, sendo que a maior parte dessa água acaba como subproduto ou efluente (Boden, 2012; Karlović *et al.*, 2020; Olajire, 2012). Os consumos de água variam consoante o tamanho da cervejeira e do seu poder de automação. Estima-se que nas grandes indústrias a pegada hídrica ronde os 3-4 L de água por 1 L de produto final, ao passo que numa pequena indústria estes valores possam atingir proporções de 10:1 (Boden, 2012) dos quais 7 L acabam como efluentes (Karlović *et al.*, 2020). A formação/sensibilização dos operadores tem grande impacto nos consumos. Segundo Simate (2011), é possível tratar estas águas residuais e reutilizá-las para fins que não sejam o consumo humano, embora implique investimentos significativos.

1.2.3 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus*), embora não seja usado ao longo da história, hoje é inseparável de quase todos os tipos de cerveja. É uma planta trepadeira resistente, dióica e pertence à família da *Cannabaceae* (Eßlinger & Narziß, 2012; Worku *et al.*, 2017). Contém óleos essenciais, substâncias minerais, polifenóis e resinas amargas (D'Avila *et al.*, 2012). Estas resinas são ácidos alfa, também conhecidos como humulones. Os mais prevalentes são humulona, cohumulona e adlupulona (Fig. 1.4).

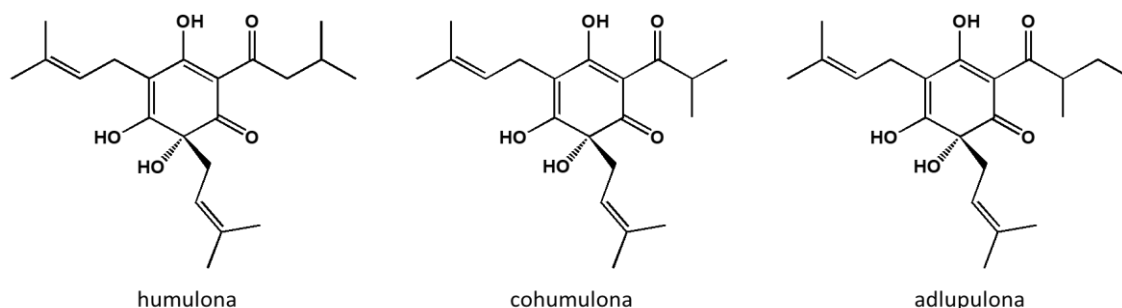


Figura 1.4: Estruturas de ácidos alfa de lúpulo (Boulton & Quain, 2001).

Estes ácidos alfa são responsáveis pelo sabor amargo característico da cerveja, importante para equilibrar o sabor dos açúcares do malte. São responsáveis também por outros sabores e aromas, como floral, provenientes dos seus compostos químicos. Assume um papel importante na retenção de espuma e nas propriedades antissépticas da cerveja (Boden, 2012; Worku *et al.*, 2017), sendo uma das matérias-primas que sai do processo como subproduto, conhecido por *trub*.

1.2.4. Levedura

A levedura possui um papel relevante na indústria alimentar, nomeadamente no sector da panificação, na vinificação e na produção de bebidas alcoólicas, destiladas e não destiladas. Na indústria cervejeira a levedura mais utilizada pertence à família das *Saccharomycetaceae* e ao género *Saccharomyces* (Boulton & Quain, 2001). Dependendo do tipo de fermentação e de cerveja (*ale* e *lager*), pode ser utilizada a espécie *S. cerevisiae* ou *S. pastorianus*, respetivamente (Iorizzo, Coppola, *et al.*, 2021). No entanto existem cervejeiros a utilizar espécies como: *S. bayanus*, *S. uvarum*, *S. cariocanus*, *S. kudriavzevii*, *S. mikatae*, e *S. paradoxus*. Estas leveduras são dotadas de algumas propriedades cruciais para a produção de cerveja, como a capacidade de floculação e a tolerância ao álcool, apesar de serem exigentes no que diz respeito à temperatura de fermentação (Iorizzo, Letizia, *et al.*, 2021).

Atualmente, com o crescimento de cervejas alternativas e a capacidade de inovação das microcervejeiras, é possível verificar uma crescente procura por outros géneros de

levedura. *Estirpes* como *B. bruxellensis*, *P. kluyveri*, *T. delbrueckii*, entre outras, surgem como boas alternativas (Iorizzo, Coppola, *et al.*, 2021). A seleção do tipo de levedura apresenta-se como determinante nas características organoléticas do produto final. A maioria dos sabores típicos da cerveja são atribuídos às atividades bioquímicas dentro das células de levedura durante a fermentação (Lodolo *et al.*, 2008).

A levedura tem forma oval, com tamanhos que variam entre os 6 e 9 μm . Normalmente encontra-se isolada, aos pares, ou por vezes em cadeias curtas (Fig. 1.5a) (Boulton & Quain, 2001). São seres vivos unicelulares, anaeróbios facultativos, e heterotróficos, capazes de utilizar uma ampla variedade de nutrientes para apoiar o crescimento e gerar energia. Apresentam algumas exigências nutricionais, uma vez que para além dos açúcares, vitaminas e minerais, necessitam também de compostos nitrogenados na forma de aminoácidos, fundamentais para o seu bom desempenho e determinante nas características do produto final (Lodolo *et al.*, 2008).

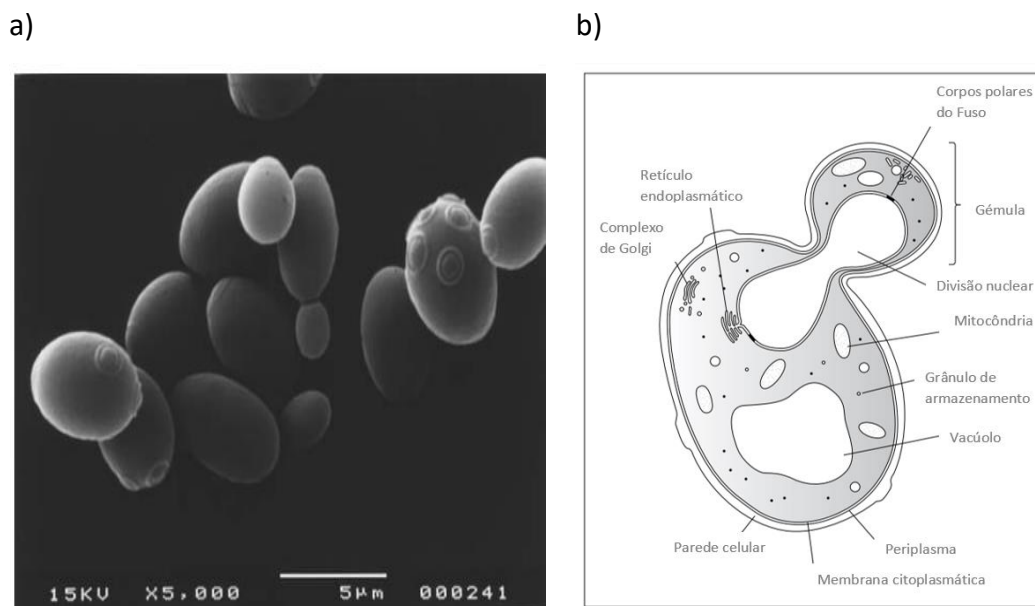
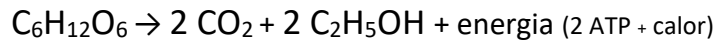


Figura 1.5: a) Fotografia microscópica de leveduras de cerveja (Boulton & Quain, 2001). b) Representação esquemática de uma célula de levedura em reprodução.

A célula de levedura é envolvida por uma parede espessa, denominada por parede celular, que envolve a membrana citoplasmática, que contém enzimas, grânulos de armazenamento e vários tipos de organelas (Fig. 1.5b).

Na presença de oxigénio a levedura utiliza a respiração para converter açúcares em dióxido de carbono e água. Por meio da respiração anaeróbica, ou seja, na ausência de oxigénio, estas células convertem os açúcares em etanol, CO₂ e energia, como podemos verificar na equação que se segue:



Este processo biológico é denominado por fermentação alcoólica, que veremos mais à frente.

A levedura necessária para a fermentação é obtida através da propagação de uma cultura de fermento puro (geração zero). Consiste em isolar células vivas, e lhes proporcionar condições favoráveis para o seu desenvolvimento e reprodução, até que se obtenha a quantidade suficiente para voltar a entrar no processo. As leveduras são removidas após a fermentação e podem ser reutilizadas no processo de fermentação até cerca de seis vezes, ou seja, até a sexta geração (Gómez, n.d.; Worku *et al.*, 2017). A sua vitalidade é determinante no número de reutilizações e está relacionada com a capacidade da levedura em iniciar rapidamente o metabolismo, quando submetida a um ambiente rico em nutrientes (Lodolo *et al.*, 2008). O seu fim de vida representa um subproduto da fermentação da cerveja. Por cada hectolitro de cerveja são produzidos cerca de 300 g deste subproduto, que equivale a 15% do total de resíduos gerados (Gómez, n.d.; Hejna, 2021).

1.3 Processo de Produção de Cerveja

A cerveja é uma bebida moderadamente alcoólica, obtida por ação das leveduras quando adicionadas ao mosto (preparado a partir da cevada maltada e outros cereais), que depois de fermentado dá origem à cerveja. As matérias-primas têm um papel preponderante na qualidade do produto final, e influenciam diretamente as propriedades organoléticas e durabilidade. (Kunze, 2010). A figura 1.6 resume o processo de fabrico da cerveja bem como os seus principais subprodutos. Este envolve uma série de etapas, todas fundamentais para a produção da cerveja, mas que podem variar de acordo com o tipo de cervejaria. São elas, a maltagem, a brassagem, a fermentação, a maturação e a filtração.

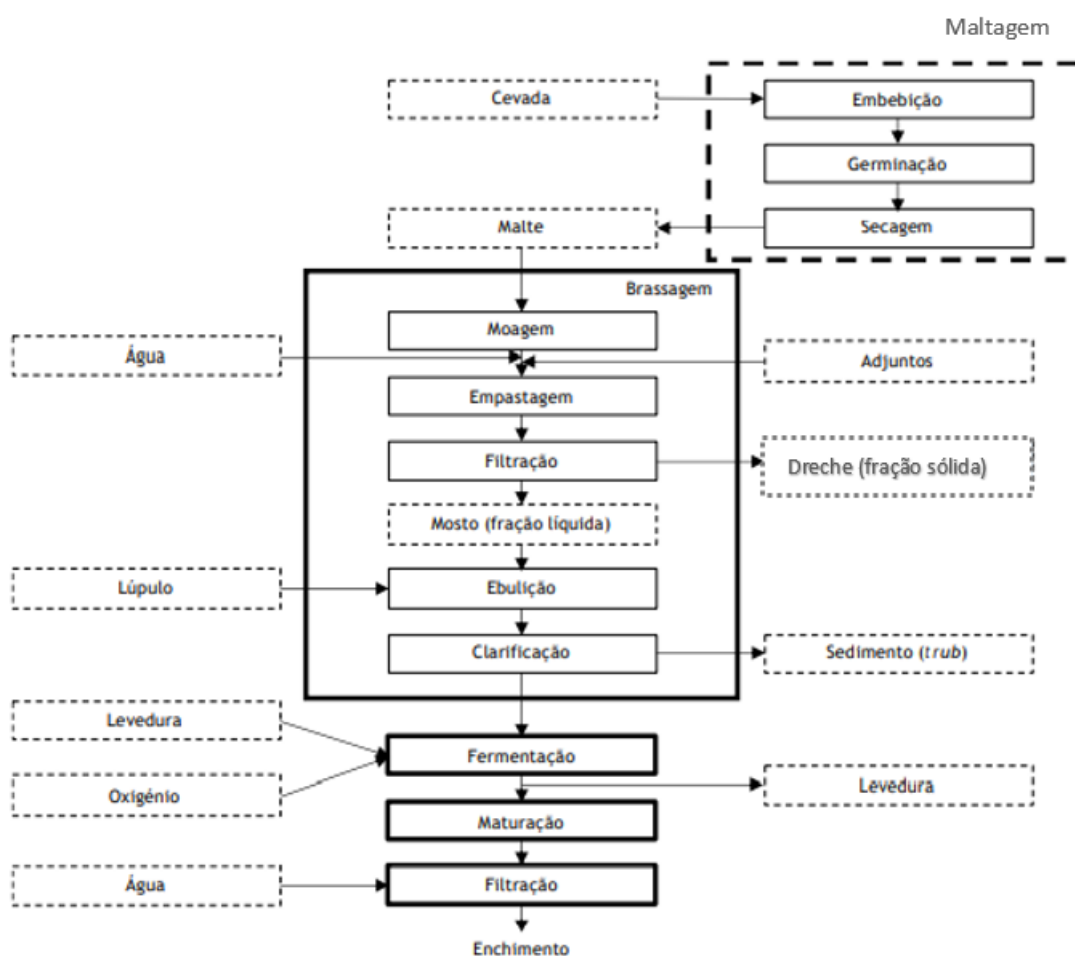


Figura 1.6: Diagrama do processo de fabrico de cerveja, com os principais subprodutos. Adaptado (Rachwał et al., 2020).

1.3.1 Maltagem

Malte é o grão de cevada modificado a nível físico e químico, por meio de processos tecnológicos, onde é possível obter grãos de malte com características bastante distintas (Fig. 1.7), no que se refere à sua cor e atividade enzimática (Rodrigues et al., 2015).



Figura 1.7: Vários tipos de malte.

Este processo tem dois grandes objetivos: obter um produto com elevada atividade enzimática, também conhecida como poder diastásico, fundamental para a sacarificação do amido (Andrews & Burton, 2004; Rodrigues *et al.*, 2015), que consiste na hidrólise do amido e de outras macromoléculas em moléculas mais pequenas, como açúcares fermentáveis e dextrinas não fermentáveis durante a fase da brassagem, no fabrico de cerveja (Farias *et al.*, 2009). Outro grande objetivo é disponibilizar nutrientes, como o nitrogénio, para o desenvolvimento das leveduras na fase de fermentação da cerveja.

Este processo consiste em submeter o grão a três passos principais: embebição (hidratação), germinação e secagem.

O primeiro passo consiste em embeber o grão de cevada em água. Este procedimento tem como objetivo a aumentar o teor de humidade do grão até aproximadamente 45%, por meio de um processo osmótico (MacLeod, 2004). Este incremento de água promove as trocas gasosas no grão e a hidratação do amido no endosperma, desencadeando a etapa de germinação (Boulton & Quain, 2001).

Nesta etapa de germinação assiste-se a importantes transformações físicas do grão ao longo dos dias, nomeadamente o crescimento da radícula e da plúmula (Fig. 1.8).

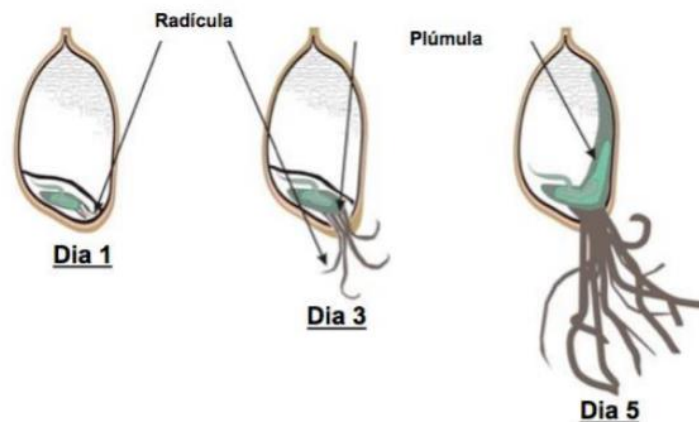


Figura 1.8: Crescimento da Plúmula e da Radícula ao longo da germinação do grão de cevada (Rodrigues *et al.*, 2015).

Dá-se o início da atividade embrionária e simultaneamente é produzida a hormona giberelina. Esta hormona vegetal é fundamental para estimular a camada de aleurona a produzir várias enzimas amilolíticas (α -amilase, β -amilase, limite dextrinase, α -glucanase, β -glucanase, xilanase e endo- e exoproteinasas). Estas enzimas têm a função de quebrar a parede celular, promovendo a degradação de proteínas, amido e lipídios fundamentais para o desenvolvimento do embrião. De seguida, o grão germinado é submetido a um ambiente seco e quente de forma a interromper estas reações bioquímicas (MacGregor, 1996; MacLeod, 2004).

1.3.2 Brassagem

A brassagem é uma etapa de extrema importância no processo de fabrico de cerveja, que pode ser feita de várias maneiras, dependendo da qualidade do malte e das infraestruturas. No entanto normalmente procede-se em quatro fases: moagem, preparação, filtração e ebulição do mosto. O mosto consiste num preparado de água quente, malte e, eventualmente, adjuvantes, onde as enzimas formadas durante a maltagem, vão atuar e degradar o amido e as proteínas (Farias *et al.*, 2009). Este contributo enzimático permite obter um mosto com 70–80% de açúcares fermentáveis, nomeadamente glucose,

maltose, maltotriose. Vários fatores influenciam a qualidade e o rendimento da brassagem, desde a qualidade do malte e dos adjuntos utilizados, a composição química da água, do jogo de tempo/temperaturas, como também do grau do extrato.

1.3.2.1 Moagem

O processo de fabrico de cerveja inicia-se com a moagem e é o primeiro procedimento da etapa de brassagem (Fig. 1.9). Esta etapa é realizada imediatamente antes do uso do malte, a fim de evitar a sua oxidação.



Figura 1.9: Início da moagem do grão.

É um processo físico que tem como objetivo desintegrar toda a casca do grão e expor o seu conteúdo transformando-o em farinha, com a finalidade de deixar as enzimas e os polímeros do endosperma expostos, de forma a acelerar o processo da hidrólise do amido em açúcares de baixo peso molecular (Andrews & Burton, 2004). Uma moagem fina do endosperma favorece a extração máxima dos seus componentes, resultando em melhores rendimentos. Já em relação à casca, o objetivo é obter maior percentagem de cascas intactas, que para além de ajudar no processo de filtração do mosto (Briggs, 2004; Priest & Stewart, 2006), evita a dissolução indesejável de taninos, compostos amargos e substâncias

corantes, que podem ter um efeito adverso no sabor da cerveja, como por exemplo o sabor adstringente na boca (Eßlinger & Narziß, 2012).

1.3.3.2 Preparação do mosto

É aqui que parte dos componentes insolúveis do malte se tornam solúveis por ação das enzimas amilolíticas. De referir que os componentes solúveis são os açúcares, sais minerais e algumas proteínas. Os insolúveis incluem o amido, celulose, proteínas de alto peso molecular e outros compostos que sairão do processo como subproduto (Kunze, 2010). A água é adicionada ao malte originando uma mistura chamada de empastagem (Fig. 1.10).



Figura 1.10: Início da empastagem (junção da água e do cereal).

Após mistura começa um jogo de temperaturas. O intervalo de temperaturas de 40–50°C leva ao início da proteólise, ou seja, a desnaturação da proteína. As enzimas protéases e carboxipeptidase, produzidas durante a germinação, quebram as ligações peptídicas pelo grupo carboxilo dos peptídeos até à sua unidade básica, os aminoácidos (Bamforth, 2000; Kunze, 2010).

Através de agitação e de temperaturas aproximadamente dos 65 °C, assiste-se ao efeito físico da gelatinização do amido, ou seja, os grânulos de amido incham e quebram-se, tornando-se suscetíveis a um rápido ataque enzimático (Cadenas *et al.*, 2021; Kunze, 2010). Após a gelatinização, as enzimas amilases (α -amilase e β -amilase) presentes no mosto, atacam o amido gelatinizado e obtém-se açúcares fermentáveis (glicoses, maltotrioses e maltoses) e açúcares não fermentáveis (dextrinas) (Fig. 1.11) (Farias *et al.*, 2009).

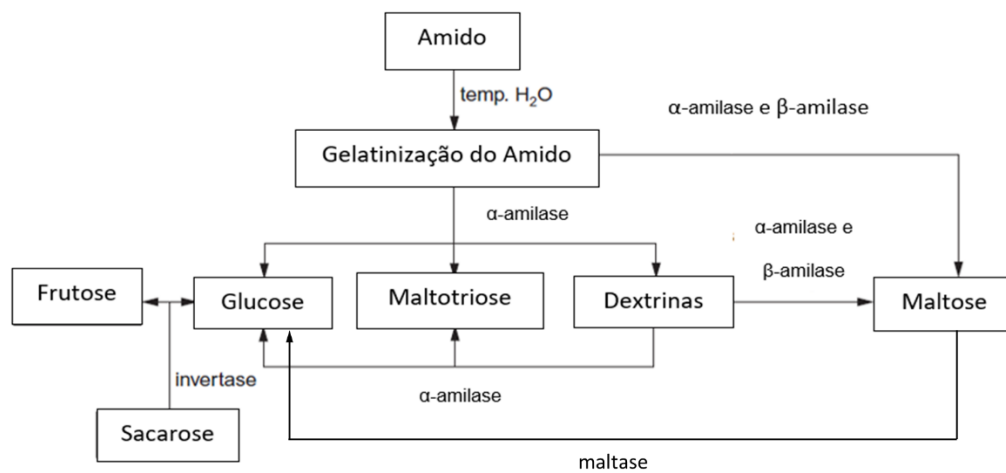


Figura 1.11: Hidrólise do amido durante preparação do mosto. Adaptado: C. Brandam *et al.*, 2002

A α -amilase que é uma enzima termorresistente, quebra progressivamente ligações α -1,4 glicosídica da amilose e da amilopectina originando cadeias com 7 a 12 moléculas de glicose, contribuindo para a redução da viscosidade do mosto e diminuição do peso molecular do polímero de amido (Kunze, 2010). Por outro lado, a β -amilase trabalha a partir da extremidade não redutora, catalisa a hidrólise da segunda ligação α -1,4 glicosídica da amilose, originando duas unidades de glicose (maltose) de cada vez, fonte de energia essencial para o processo de fermentação. Em ambos os casos, a quebra das ligações termina próximo das ligações de α -1,6 presentes na amilopectina, visto estas enzimas não terem a capacidade de as quebrar (Kunze, 2010).

Os principais fatores que regulam a atividade destas enzimas são o pH, a temperatura e a concentração do mosto. No entanto a temperatura é a variável mais importante. Esta, na faixa de 60–65 °C maximiza a atividade da β -amílase, enquanto para maximizar a atividade da α -amílase é necessária uma temperatura na faixa de 65–75 °C (Charles W Bamforth, 2000). Uma vez que as atividades de α - e β -amilases são fundamentais na produção de cerveja, o controle destas temperaturas durante a preparação do mosto são de extrema importância. O incremento de temperaturas acima do descrito, pode acelerar a desnaturação de todas as enzimas, e conseqüentemente à extração de substâncias (por exemplo, taninos) do malte. A temperatura do mosto deve ser controlada de forma a atingir a gelatinização, sem comprometer a atividade das enzimas (Cadenas *et al.*, 2021).

A hidrólise proteica é tão importante quanto a do amido, embora aconteça em menores quantidades. Na preparação do mosto, numerosas endopeptidases e determinados exopeptidases (por exemplo, carboxipeptidases) atacam as proteínas, originando peptídeos e aminoácidos, bem como substâncias proteicas de alta massa molecular (Eßlinger & Narziß, 2012).

Na etapa final, chamada *mashing-off*, a temperatura é elevada até ao ponto em que a atividade enzimática é interrompida, aproximadamente 78 °C (Kunze, 2010). Após a diminuição da temperatura, adjuvantes pré-gelatinizados, por exemplo, milho em flocos ou adjuvantes líquidos, como xarope de milho, podem ser introduzidos e misturados diretamente no mosto (Bamforth, 2000). No final, o amido deve estar completamente convertido em açúcares, constituindo o mosto (solução de açúcares). O extrato do mosto é caracterizado pelo teor de sólidos solúveis presentes, avaliado a partir da densidade da solução e expressa, geralmente em °Plato (% m/m de sólidos solúveis no mosto). Quanto maior for o valor de extrato, maior será o rendimento do processo e menor o custo de fabrico (Fox & Henry, 1993).

1.3.3.3 Filtração do mosto

Após todas as atividades físicas, químicas e enzimáticas no mosto, necessárias para a produção de cerveja procede-se à sua filtração, ainda com temperatura elevada (76–80 °C).

Pode ser através de cubas filtro, ou através de filtros de placas, com porosidades e características específicas. A filtração consiste essencialmente na separação das partículas físicas e insolúveis do grão de forma a obter um mosto aclarado (Andrews & Burton, 2004). Alguns cervejeiros optam por reaproveitar o mosto remanescente que fica no filtro juntamente com a *dreche*, passando água potável ao longo desse filtro. O líquido obtido junta-se ao mosto filtrado. As partículas físicas e insolúveis saem do processo de fabrico como subproduto, conhecida por *dreche*.

1.3.3.4 Ebulição

A ebulição do mosto usa normalmente 20% do consumo total de energia de uma cervejeira. É um alvo significativo onde se deve usar técnicas de conservação ou recuperação através de sistemas de coleta de vapor (Andrews & Burton, 2004).

Submeter o mosto a temperaturas acima dos 100 °C durante um determinado tempo (parâmetros específicos para cada tipo de cerveja) é importante por várias razões. Contribuir para a remoção dos resíduos de malte e a evaporação de substâncias aromáticas voláteis indesejáveis. É também fundamental para a precipitação das proteínas e seus complexos, assim como inativar toda a atividade enzimática e microbiológica que resistiram ao processo de brassagem (Boden, 2012; Eßlinger & Narziß, 2012).

Como consequência da ebulição e evaporação, o mosto aumenta de densidade e ganha cor (Priest & Stewart, 2006). Por um lado, através da pirólise dos açúcares redutores, assiste-se à caramelização, por outro, a reação de *Maillard*, onde os numerosos aminoácidos reagem com os açúcares redutores para formar produtos intermediários que são posteriormente transformados em pigmentos castanhos e melanoidinas (Eßlinger & Narziß, 2012) e por fim através da oxidação de taninos (polifenóis) sendo estes os que mais contribuem para a atribuição da cor na cerveja (Priest & Stewart, 2006). No entanto, a produção excessiva destes compostos pode conferir um sabor alterado e envelhecido na cerveja (Eßlinger & Narziß, 2012).

O lúpulo é normalmente adicionado durante a ebulição, de forma a permitir a solubilização dos seus componentes. Este processo é conhecido por isomerização (Fig. 1.12) e consiste na mudança da estrutura dos α -ácidos em iso- α -ácidos (Bamforth, 2000). A transformação dos α -ácidos é um processo lento e influenciado por vários fatores, como a natureza dos α -ácidos, o pH do meio e a duração da etapa de ebulição (Priest & Stewart, 2006).

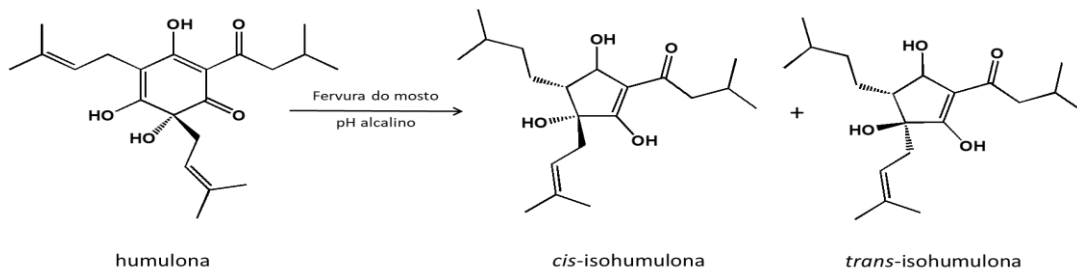


Figura 1.12: Isomerização do α -ácidos (humolones) em iso- α -ácidos (iso humolones) (Araujo, 2005).

Estes ácidos, para além de promoverem capacidades antissépticas ao produto final (Boulton & Quain, 2001; Priest & Stewart, 2006), também são responsáveis pelo aroma e sabor amargo da cerveja. A sua concentração é um parâmetro de controle da cerveja, medido em unidades de amargor (UA-ppm) (Verzele, 1986).

1.3.3 Decantação (remoção da *trub*)

Os compostos de nitrogénio que coagulam durante a fervura, que se encontram em suspensão no mosto quente, devem ser removidos o mais rápido possível, para evitar problemas a jusante, como sabor a mosto, amargo e adstringência na cerveja (Priest & Stewart, 2006). Os polifenóis, podem também se polimerizar e combinar com proteínas, causando turbidez à cerveja (Siqueira *et al.*, 2008). Para além destas substâncias indesejáveis e amargas, a remoção da *trub* é importante para melhorar a eficiência e a estabilidade física do mosto (Priest & Stewart, 2006).

O tanque de sedimentação (recetor de mosto quente) permite boa separação da *trub* e dos resíduos de lúpulos. No entanto, 2–5% do mosto fica misturado, que pode ser

recuperado e reintroduzido no processo através de uma centrifugação (Eßlinger & Narziß, 2012). Segundo Eßlinger & Narziß (2012), não é consensual a melhor forma de remoção da *trub*, se a frio ou a quente. A separação a frio pode acelerar a fermentação devido à presença de cadeia longa ácidos gordos insaturados, embora a capacidade de separação dos resíduos não seja tão eficaz.

1.3.4 Arrefecimento do mosto

O mosto, agora isento de resíduos e de *trub*, é arrefecido antes de dar início à fermentação. Na maioria das cervejeiras, para arrefecer o mosto de 80 °C para aproximadamente 8 °C é usado um arrefecedor de placas. O líquido de arrefecimento normalmente usado é água fria em contra-corrente (Kunze, 2010). Este método envolve grandes consumos de água e energia. Com a transferência de calor, a temperatura da água sobe para próximo dos 80 °C perdendo rapidamente a capacidade de arrefecimento. A água quente resultante desta transferência de calor é reutilizada na fase da preparação do mosto, onde é necessário o fornecimento de calor.

1.3.5 Arejamento do mosto

O mosto arejado é obtido através da injeção de ar comprimido, diretamente na tubagem presente à entrada da cuba de fermentação, por meio de bicos de dispersão uniforme ou jatos *venturi* (Eßlinger & Narziß, 2012). Este processo é fundamental para obter um mosto com disponibilidade de oxigénio (saturação) entre 6 e 9 mg/L, correspondendo a 80% de saturação do mosto com O₂. A levedura apenas precisa de oxigénio para a produção de esteróis e ácidos gordos insaturados, componentes essenciais da sua membrana celular (Burton *et al.*, 2004; Hardwick, 1994). A fermentação alcoólica e o seu desenvolvimento ocorrem em condições anaeróbicas (Boulton & Quain, 2001).

1.3.6 Fermentação

A fermentação é frequentemente considerada como a etapa determinante na produção de cerveja, tanto a nível de rendimento como nos aspetos da Qualidade e Segurança Alimentar. Estes últimos são baseados nos requisitos da ISO 9001 e do HACCP (Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos).

É nesta fase que se dá a biotransformação do mosto em cerveja, denominado por fermentação alcoólica, a qual se desenrola a temperaturas controladas, durante cerca de 7 dias. Tem início com a inoculação de 0,5 - 0,7 L de levedura por hectolitro de mosto, correspondendo a $(15-20) \times 10^6$ células de levedura por mililitro de mosto. Na presença de O_2 a levedura reproduz-se e duplica ou triplica a sua massa (Eßlinger & Narziß, 2012).

A levedura metaboliza os açúcares fermentáveis disponíveis no mosto. A maltose e a maltotriose atravessam diretamente a membrana citoplasmática e as enzimas amiláceas existentes dentro da célula, hidrolisam estes dissacarídeos em glicose, enquanto a glicose e frutose hidrolisadas no mosto são rapidamente assimiladas pela levedura. As dextrinas (os açúcares não fermentáveis), permanecerão no produto final e são importantes na retenção da espuma e também por dar corpo à cerveja (Kunze, 2010).

Já na ausência de O_2 (via de produção de energia anaeróbia), a glicose é convertida em piruvato, conhecida como Via *Embden-Meyerhof* ou Glicólise (Fig. 1.13) cujo principal objetivo é a obtenção de energia (adenosina-trifosfato (ATP)).

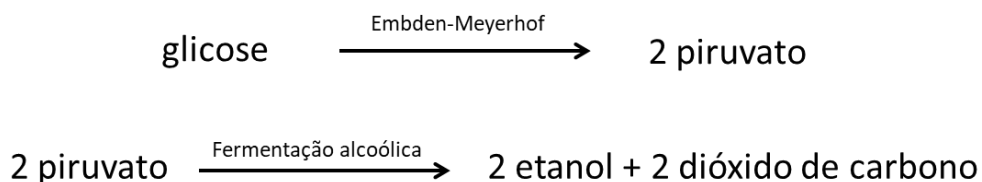


Figura 1.13: resumo esquemático da fermentação alcoólica.

A glicólise é uma sequência metabólica composta por um conjunto de dez reações, catalisadas por enzimas disponíveis no citoplasma da célula de levedura (Fig. 1.14).

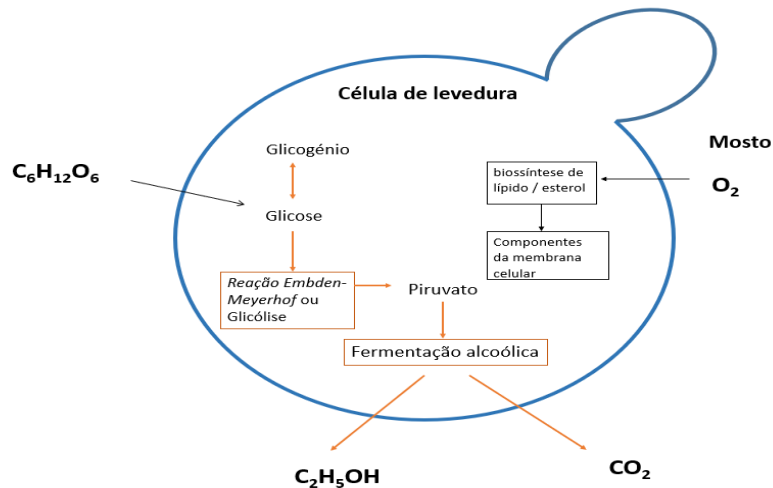


Figura 1.14: Fermentação da cerveja. Esquema de uma célula de levedura no mosto assimilando glicose para produzir subprodutos da fermentação etanol e CO_2 ; o O_2 é assimilado para produzir as componentes da membrana. (Stewart & Priest, 2006).

Na primeira etapa, a glicose é fosforilada pelas enzimas, e ao receber fosfato proveniente de duas moléculas de ATP, torna-se quimicamente ativa (Fig. 1.15). Nessa fase assiste-se a um gasto de energia. Na segunda etapa ocorre a oxidação da glicose, sendo o agente oxidante o dinucleotídeo nicotinamida e adenina (NAD^+), que será reduzido em NADH. A energia produzida nesse processo é utilizada para a produção de um saldo energético final de dois ATP. O piruvato permanece no citoplasma, recebe os elétrons do NADH e sofre descarboxilação, originando duas moléculas de etanol e duas de CO_2 (Augusto & Junior, 2011; Skovgaard, 2002).

Importante referir que as leveduras *Saccharomyces* são organismos heterotróficos, que necessitam de substrato orgânico como fonte de carbono e energia. Apresentam duas vias metabólicas possíveis: na presença de O_2 livre podem realizar a respiração aeróbia (ciclo de *Krebs* - fase inicial da fermentação) e na sua ausência podem realizar a fermentação alcoólica (Aquarone *et al.*, 2001).

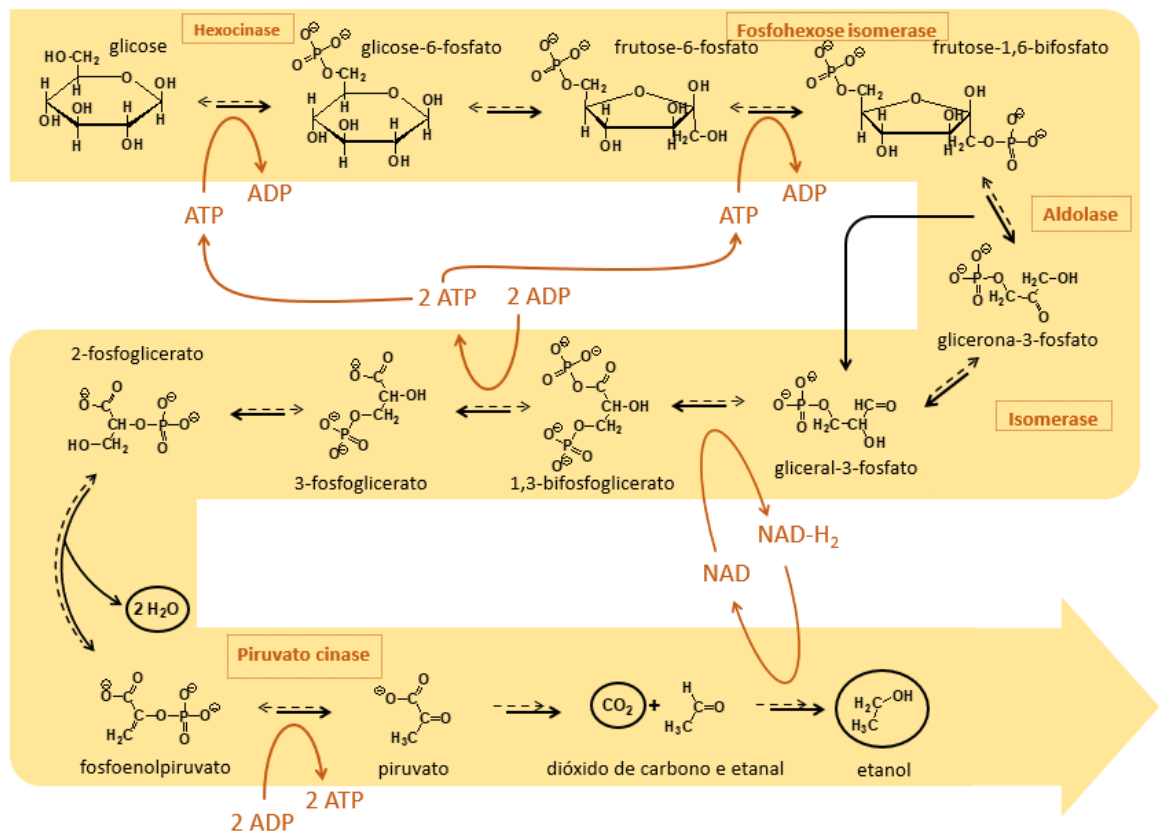


Figura 1.15: Diagrama da fermentação alcoólica. Adaptado: Kunze, 2010; Skovgaard, 2002

O CO₂ é um subproduto importante da fermentação. Equivale a 2–2,5 kg por hectolitro de cerveja e pode ser utilizado, por exemplo, para carbonatar a cerveja (Burton *et al.*, 2004; Eßlinger & Narziß, 2012). Além deste subproduto, a levedura produz uma infinidade de outros produtos metabólicos que contribuem para as propriedades sensoriais da cerveja (Priest & Stewart, 2006). Embora toda a espécie de levedura *S. Cerevisiae* se processe da mesma forma, a estirpe utilizada irá determinar o aroma e o sabor do produto final (D. Junior *et al.*, 2009).

No início da fermentação, a levedura encontra-se numa fase de adaptação. A sua atividade é quase inexistente. Esta fase é conhecida como fase de latência (Andrews & Burton, 2004). A levedura reajusta-se então a um novo ambiente rico em nutrientes. Nesta fase o oxigénio é assimilado pela levedura e dá-se a produção de enzimas necessárias para a absorção dos nutrientes e crescimento celular. Após a fase de latência, há uma curta transição para a fase de crescimento logarítmico ou exponencial. Durante esta fase, a

população de células aumenta exponencialmente devido à abundância de substrato e simultaneamente desencadeia-se a fermentação (D. Junior *et al.*, 2009). As células mudam gradualmente para a fase estacionária conforme a concentração de açúcar vai sendo consumida. As células começam a precipitar enquanto o último dos açúcares é assimilado lentamente. Durante este período, a concentração de glicogénio aumenta e as células preparam-se para um ambiente quase desprovido de açúcares assimiláveis (Priest & Stewart, 2006).

Os açúcares fermentáveis são geralmente assimilados pela seguinte ordem: frutose, glicose, maltose e maltotriose. Os aminoácidos são também assimilados por ordem específica que pode depender da espécie de levedura (Priest & Stewart, 2006).

O aumento da temperatura observado na cuba de fermentação é devido à reação exotérmica, energia liberada durante a fermentação, originada na formação de ATP durante o consumo de glicose (Kunze, 2010).

Com a decantação da levedura no fundo da cuba cilindro-cónica, procede-se a sua remoção. Tal como já referido anteriormente, esta massa de levedura entra no processo enquanto se manifestar ativa. Quando atinge um valor significativo de mortalidade, estas são retiradas do processo como subprodutos.

1.3.7 Maturação e filtração

Terminada a fermentação, a cerveja deve passar por um período de maturação, que consiste em a armazenar a baixas temperaturas de forma a permitir a libertação de compostos voláteis indesejáveis produzidos durante a fermentação, principalmente as dicetonas vicinais (VDK), responsáveis pelo sabor amanteigado da cerveja (Eßlinger & Narziß, 2012).

Concluída esta etapa segue-se a estabilização a frio, na qual os complexos de proteínas, polifenóis e levedura precipitam a baixa temperatura, garantindo o equilíbrio coloidal.

A operação que se segue é a filtração. Esta operação é determinante na clarificação e estabilidade coloidal, pois é responsável pela remoção de resíduos de leveduras, proteína

precipitada e polifenóis. A filtração da cerveja poderá ser feita através de cartuchos ou membranas com porosidades específicas para cada objetivo, ou através de filtros com adjuvantes de filtração. O uso de agentes estabilizantes para prevenir a formação de turvação é frequente na indústria cervejeira. Estes podem ser sílica gel, terra diatomáceas ou polivinil-polipirrolidona (PVPP). A sílica gel age ligando-se a polipeptídeos hidrofílicos, enquanto o PVPP remove os polifenóis de maior peso molecular, por ter uma estrutura muito semelhante à do aminoácido prolina (Siqueira *et al.*, 2008). A terra de diatomáceas, também conhecida como *Kieselguhr*, é um pó filtrante 100% orgânico e biodegradável obtido a partir de rochas sedimentadas provenientes de algas marinhas com cobertura de dióxido de silício. Quanto mais fino o *kieselguhr* mais límpida fica a cerveja, mas a velocidade da filtração ficará comprometida e diminuirá (Freeman & McKechnie, 2003). Após a sua utilização, estas terras diatomáceas também são retiradas do processo como subprodutos e muitas vezes inutilizadas.

A diluição deve ser efetuada após a filtração da cerveja. A qualidade da água utilizada para este processo é de extrema importância. Deverá apresentar-se livre de contaminação, estéril e desarejada (Andrews & Burton, 2004). A quantidade de água a adicionar varia consoante o tipo de cerveja.

Capítulo II



2. Legislação e o Sistema de Gestão Ambiental

Questões como o desperdício, a segurança e insegurança alimentar estão na ordem do dia e são transversais aos interesses sociais, económicos, ambientais e políticos. Os resíduos e desperdícios alimentares acarretam custos avultados à economia global, para além de gerarem impactos nefastos no meio ambiente, contribuindo para a insegurança alimentar e nutrição. Os resultados do estudo realizado para o Congresso Internacional “Save Food” relatam que cerca de um terço dos alimentos produzidos para consumo humano ao nível mundial são desperdiçados, o que equivale a cerca de 1,3 biliões de toneladas por ano (FAO, 2011). Este desperdício consome cerca de um quarto de toda a água usada para fins agrícolas; requer uma área de cultivo do tamanho da China; é responsável por cerca de 8% das emissões de gases de efeito estufa e também contribui para a perda de biodiversidade (FAO, 2011). Segundo o projeto FUSIONS (Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies), os setores que mais contribuem para o desperdício de alimentos são os domicílios, com um valor de aproximadamente 47 milhões de toneladas e o sector do processamento alimentar, no qual o desperdício alimentar ronda os 17 milhões de toneladas. Esses dois setores representam 72% do desperdício de alimentos da UE (Vittuari *et al.*, 2016).

A Cimeira das Nações Unidas para 2030 apresenta os seus objetivos gerais com foco nas pessoas, no planeta, na prosperidade, na paz e nas parcerias. O seu objetivo final centra-se na erradicação da pobreza e da fome, através do desenvolvimento sustentável. Em concreto, esta cimeira propõe a redução para metade do desperdício alimentar e das perdas de alimentos ao longo das cadeias produtivas, abastecimento e consumidor final (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017).

Em março de 2020, a Comissão Europeia apresentou um novo plano de ação para a economia circular, no sentido de uma Europa mais limpa e competitiva. Este plano de ação apresenta-se ambicioso, com apoios e medidas concretas para aumentar a competitividade e modernização da Indústria em toda a UE. Pretende assim conceder produtos sustentáveis, reforçar a participação dos consumidores e compradores públicos na economia circular e incentivar a ‘circularidade’ nos processos produtivos, principalmente

nos processos que usam mais recursos como, por exemplo, equipamentos eletrónicos, baterias e veículos, embalagens, plásticos, têxteis, construção e edifícios, alimentos, água e nutrientes, garantindo menos desperdício (EUROPEIA, 2020).

Estes esforços da UE pretendem uma economia mais circular, menos dependente de matérias-primas, onde os resíduos e o valor dos produtos, materiais, e recursos sejam mantidos no sistema por maior tempo possível, de forma a alcançar a eficiência na utilização dos recursos, através da pesquisa e inovação que se assumem como ferramentas basilares nesta mudança sistémica (EUROPEIA, 2020).

Do ponto de vista legislativo, em 2018, foi publicado no Jornal Oficial da União Europeia, um pacote de 4 diretivas de forma a alcançar a Economia Circular:

- Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho, que altera a Diretiva 2008/98/CE, relativa aos resíduos. Esta Diretiva vem complementar a transição europeia para uma economia circular, tendo como propósito alcançar medidas em matéria de produção e consumo sustentáveis, em todo o ciclo de vida dos produtos, de modo a recuperar e reutilizar recursos;
- Diretiva (UE) 2018/850 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 1999/31/CE relativa à deposição de resíduos em aterros;
- Diretiva (UE) 2018/852 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens;
- Diretiva (UE) 2018/849 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera as Diretivas 2000/53/CE relativa aos veículos em fim de vida, 2006/66/CE relativa às pilhas e acumuladores e respetivos resíduos, e 2012/19/UE relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos.

Subprodutos agroalimentares destinados a ser utilizados como rações, estão sujeitos ao Regulamento (CE) nº 767/2009, que foi transposto pelo Regulamento (UE) 2017/1017 relativo ao Catálogo de matérias-primas para alimentação animal. As alterações dizem respeito a clarificações das disposições gerais, a novas entradas relativas a processos de tratamento e a matérias-primas para alimentação animal.

A legislação europeia sobre segurança alimentar baseia-se nos fundamentos da análise de risco e seus três componentes:

- 1) avaliação de risco,
- 2) gerenciamento de risco,
- 3) comunicação de risco.

Os alimentos à base de cereais como trigo, cevada, aveia, centeio e milho com destino ao ser humano e animal podem ser contaminados por micotoxinas. Esta contaminação pode dar-se desde o campo até ao armazenamento e releva-se quimicamente estável e resistente ao processamento térmico, até determinada temperatura. Assim, as micotoxinas representam um risco importante para o processamento dos subprodutos da cerveja. Pelo menos 40 países a nível mundial, estabeleceram níveis máximos (MLs) ou recomendações para estes contaminantes. O Regulamento (CE) 1881/2006 estabelece teores máximos de certos contaminantes, nomeadamente de micotoxinas, presentes nos géneros alimentícios, como por exemplo em cereais não transformados e produtos à base de cereais para consumo humano. Já o Regulamento (UE) nº 1275/2013 e a Recomendação da Comissão 2006/576/CE vieram definir níveis máximos para as micotoxinas na alimentação animal. O Regulamento (CE) nº 401/2006 define os métodos de amostragem e de análise para o controlo oficial dos teores de micotoxinas nos géneros alimentícios (EFSA, 2017).

A Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos recomenda a necessidade de uma revisão da legislação dos contaminantes devido ao aparecimento de novos produtos como o bioetanol ou o biopolímero (EFSA, 2014). Outros riscos de segurança alimentar associados à valorização de subprodutos de cereais e tecnologias relacionadas não são bem conhecidos até o momento, mas podem conter contaminantes químicos (ou seja, pesticidas e metais pesados), microrganismos patogénicos, possibilidade para potencial alergénico, etc. Isso pode levar a resíduos químicos, alérgenos ou a presença de microrganismos patogénicos nos produtos processados onde são usados (Papageorgiou & Skendi, 2018).

Capítulo III



3. Subprodutos da Produção de Cerveja

As questões ambientais foram negligenciadas nas últimas décadas. Os avanços tecnológicos, os objetivos económicos e a euforia do consumidor final levaram a um desenvolvimento desacerbado na indústria, onde as questões ambientais nem sempre foram tomadas em consideração. Felizmente, as organizações internacionais estabeleceram medidas transversais a todos os países, despertando para as questões da sustentabilidade ambiental e da economia circular. Cada vez mais, as questões ambientais são determinantes para a competitividade da indústria atual.

O redesenho do processo, a recuperação de subprodutos, a utilização de energias renováveis ou a reutilização de efluentes, são medidas que a indústria cervejeira procura implementar de forma a adaptar-se às novas exigências do consumidor e de cumprir com as diretrizes internacionais.

As questões ambientais mais significativas deste sector incluem:

- 1) consumo de água;
- 2) consumo de energia;
- 3) emissões de CO₂ para a atmosfera;
- 4) produção de águas residuais;
- 5) produção de resíduos sólidos (resíduos industriais simples como o *Kieselguhr*, vidro, papel, papelão, plástico, óleos, madeira, lodo biológico, etc.);
- 6) produção de subprodutos.

De um modo geral, o processo de fabrico consome muita energia (Fig. 3.1). Envolve o uso de grandes volumes de água, bem como uma elevada produção de subprodutos (*dreche*, *trub* e levedura). Para Olajire (2012), uma cervejaria bem administrada usaria de 8 a 12 kWh de eletricidade, 5 hL de água e 150 MJ de fuel por cada hectolitro produzido.

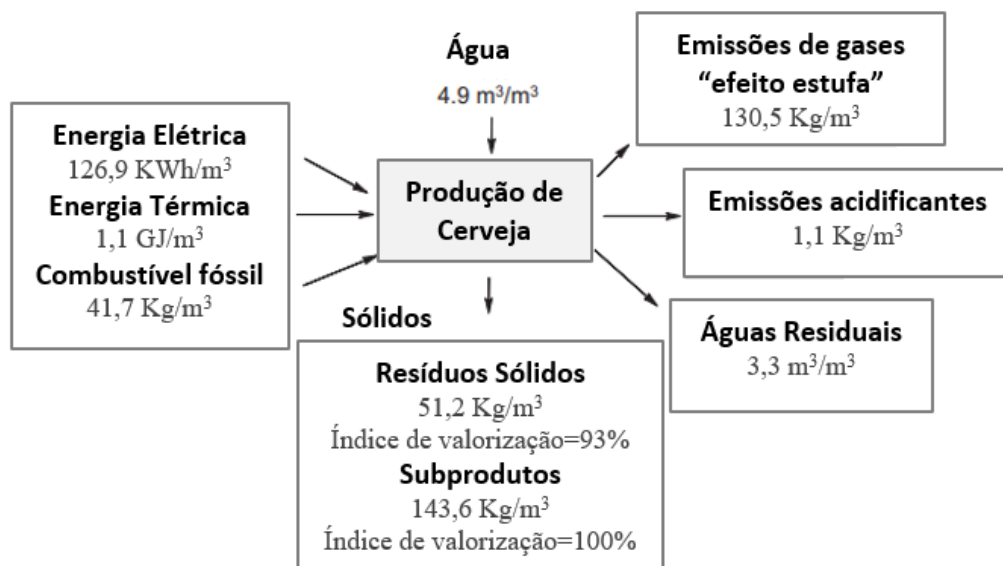


Figura 3.1: Balanço de Massa dos consumíveis da Cervejeira Unicer por m^3 de cerveja produzida (Unicer SA, 2005).

Segundo Stewart e Priest (2006) a *dreche*, a *trub* e a levedura excedente são responsáveis por uma perda até 20% do volume de cerveja produzida. Uma abordagem segundo os princípios da economia circular pode proporcionar redução de custos até 20% (European Environment Agency (EEA), 2016), reintroduzindo estes resíduos como recursos em novos processos, invés de serem descartados para um aterro.

3.1 Bagaço de malte (*dreche*)

O bagaço de malte designado vulgarmente por *dreche*, é um resíduo sólido insolúvel resultante da produção do mosto, composto basicamente por amido residual, pela casca do grão de cevada e eventualmente de outros cereais como trigo, arroz, milho, entre outros (Ikram *et al.*, 2017).



Figura 3.2: Resíduo de dreche à saída do processo.

É o subproduto mais importante e mais abundante da indústria cervejeira (Fig. 3.2). Corresponde a cerca de 85% do total de subprodutos gerados (Ikram *et al.*, 2017; Ortiz *et al.*, 2019). Representa cerca de 31% do peso original do malte, o equivalente a aproximadamente 20 kg por 100 L de cerveja que é produzida (Kunze, 2010; S.Mussatto *et al.*, 2006).

Na literatura é possível encontrar variações no que diz respeito à composição química deste subproduto, como pode ser verificado na tabela 3.1. Estas diferenças dependem de vários fatores, entre os quais, o método analítico utilizado, a qualidade do subproduto, a variedade de cereais usados, a época do ano e região em que são cultivados, o grau de moagem e as condições de germinação e da glicólise (Kao, 2016; S. Mussatto & Roberto, 2006).

Tabela 3.1: Composição da *dreche* de acordo com dados bibliográficos.

Componentes (% peso seco)	Buffington (2014)	Khidzir <i>et al.</i> , (2010)	dos Santos Santos Mathias <i>et al.</i> , (2015)	Santos <i>et al.</i> , (2003)	Celus <i>et al.</i> , (2006)	Kanauchi <i>et al.</i> , (2001)	Mussatto <i>et al.</i> , (2008)	Lynch <i>et al.</i> , (2016)	Meneses <i>et al.</i> , (2012)	Xiros <i>et al.</i> , (2008)	Autor (2022)
Celulose	22.2	-	-	-	-	-	16.8	12.0-25.0	21.7	12.0	-
Hemicelulose	26.8	-	-	-	-	-	28.4	20.0-25.0	19.2	40.2	-
Lignina	14.1	-	-	-	-	-	27.8	10.0-28.8	19.4	11.5	-
Proteínas	-	-	26.9	24.2	26.7	24.0	-	19.0-30.0	24.7	14.2	-
Cinzas	-	-	3.8	3.4	3.3	-	4.6	2.0-5.0	4.2	3.3	-
Lípidos	-	-	-	3.9	-	10.6	-	10.0	-	13.3	-
Carbono	-	35.6	52.3	-	-	-	-	-	-	-	49.51*
Nitrogénio	-	1.25	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-
Fenólico	-	-	-	18,7	-	-	-	0.8-2.0	3.6	-	-
Humidade	-	72.62	82.6	-	-	-	-	-	-	-	63.8*

*As EA (análises elementares) foram executadas num analisador Perkin Elmer PE 2400 Série II no Laboratório de Análises do IST (Instituto Superior Técnico)

A *dreche* é constituída por vários tipos de monossacarídeos, nomeadamente glicose, xilose e arabinose (Kao, 2016). Contém uma elevada concentração de proteínas e aminoácidos essenciais nomeadamente a lisina, histidina, metionina, fenilalanina, triptofano e não essenciais como a alanina, serina, glicina, prolina (McCarthy *et al.*, 2013; S. Mussatto, 2006), lípidos e compostos fenólicos tais como o ácido ferúlico e ácido p-cumárico (Ikram *et al.*, 2017; McCarthy *et al.*, 2013).

Uma vez que a casca do malte é um material lignocelulósico, a *dreche* é um resíduo rico em fibras, tais como celulose, hemicelulose e lignina, que correspondem aproximadamente a 70% da composição da *dreche*. A celulose é um polissacarídeo orgânico mais abundante no planeta. A fórmula química da celulose é frequentemente indicada como $(C_6H_{10}O_5)_n$, onde n é o grau de polimerização (Wang *et al.*, 2017). É formada por unidades repetidas de celobiose (duas moléculas de glicose unidas através de uma ligação β -1,4 glicosídica), como podemos observar na figura 3.3 (Wang *et al.*, 2017).

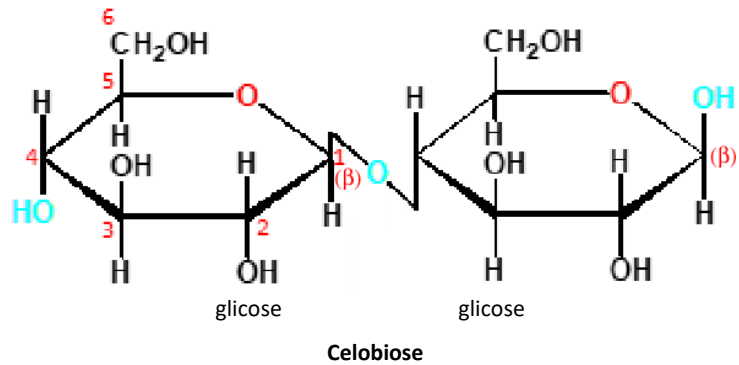


Figura 3.3: Formação da cadeia de celulose pela união de unidades β -D-glucose.

Estes polímeros de celulose de cadeia longa e linear são unidos por pontes de hidrogénio e ligações de *van der Waals*, que fazem com que a celulose seja empacotada em microfibras com regiões cristalinas e amorfas. As microfibras da celulose possuem cerca de 2/3 de regiões altamente cristalinas e ordenadas, sendo as restantes zonas amorfas. A celulose mais ordenada ou cristalina é menos solúvel e menos degradável (S. Mussatto & Teixeira, 2010).

Ao contrário da celulose, a hemicelulose é um polímero heterogéneo de estrutura amorfa e ramificada. A sua fórmula química é $(C_5H_8O_4)_n$. É formada por heteropolímeros, nomeadamente hexoses (D-glicose, D-galactose e D-manose), pentoses (D-xilose e L-arabinose) e ácidos urónicos (D-glucurónico, D-galacturónico e metilgalacturónico) (S. Mussatto & Teixeira, 2010; Oladeji & Alade, 2016) (Fig. 3.4).

A lignina é um polímero estrutural que fornece força e rigidez à parede celular, com a seguinte fórmula química $\{C_9H_{10}O_3(OCH_3)\}_n$. É um polifenol aromático com ramificações e uma estrutura criada a partir de três monómeros (monolignóis): álcool *p*-cumarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico. Estes monómeros sofrem polimerização por desidratação, formando uma estrutura constituída por uma, duas e/ou três unidades, unidas entre si por ligações éter e C-C: *p*-hidroxifenil, guaiacil e siringil. Devido à sua configuração molecular, a lignina é extremamente resistente a agentes químicos, a degradação enzimática e aos ataques microbianos (S. Mussatto & Teixeira, 2010).

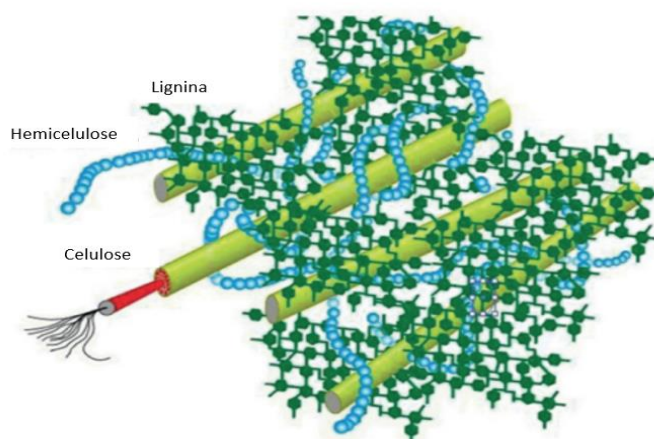


Figura 3.4: Representação esquemática de biomassa lignocelulósica, (Wang *et al.*, 2017).

Estes materiais apresentam uma rede complexa e resistente composta principalmente por lignina (10% a 30%), hemicelulose (15% a 40%) e celulose (10% a 50%), sendo a concentração de cada um desses componentes, variável de acordo com o tipo de matéria-prima, idade e estágio vegetativo (Wang *et al.*, 2017).

Relativamente aos minerais, a *dreche* contém cálcio, sódio, potássio, magnésio, alumínio, ferro, bário, estrôncio, manganês, cobre, zinco, fósforo, enxofre e crómio. (S. Mussatto & Roberto I., 2006). A nível de vitaminas, estão presentes a biotina, o ácido fólico, niacina, colina, riboflavina e tiamina, ácido pantoténico e piroxidina (McCarthy *et al.*, 2013). A casca da cevada também contém uma elevada quantidade de sílica. Estima-se que 25% dos minerais presentes neste cereal são silicatos (Ikram *et al.*, 2017)

3.1.1 Principais utilizações da *dreche* como matéria-prima

Atualmente a exploração da *dreche* como matéria-prima é limitada aos países desenvolvidos (Ikram *et al.*, 2017). As questões socioeconómicas como a criação de valor, a vantagem competitiva e a aceitação do consumidor, têm sido pouco abordadas e poderão ser algumas das razões para o subaproveitamento (Bolwig *et al.*, 2019). A composição complexa da *dreche* e o teor de humidade superior a 70%, também contribuem para a sua inutilização, dificultando o armazenamento e o transporte devido ao risco de rápida

degradação microbiológica (Robertson *et al.*, 2010). Para preservar a qualidade da *dreche* e prolongar a sua vida útil, é necessário passar por um processo de conservação, tornando o processo dispendioso. Para Aliyu & Bala (2011) a secagem é o método de conservação mais eficiente, no entanto incrementa um elevado custo energético (Aliyu & Bala, 2011). Uma boa secagem deverá garantir apenas 10% teor de humidade (Karlović *et al.*, 2020). As principais técnicas de secagem são a liofilização e a secagem em estufa. A liofilização tem a vantagem de manter as propriedades da *dreche*, no entanto é economicamente pouco viável. A secagem a quente a temperaturas abaixo de 60 °C é o método mais viável, mas mais demorado (Mussato *et al.*, 2006). Por estas razões, apesar de todo este potencial, poucos são os casos que ilustram o uso deste subproduto à escala industrial (Bolwig *et al.*, 2019).

3.1.1.1 Nutrição Animal

O principal destino deste subproduto como matéria-prima é para ração animal, principalmente para ruminantes e suínos (Westendorf & Wohlt, 2002; Jackowski *et al.*, 2020). Segundo o estudo de 2010 feito a algumas cervejeiras na *The Brewers of Europe*, por cada hectolitro de cerveja produzido, 15,5 kg de *dreche* foi usada para ração animal (Donoghue *et al.*, 2012), como podemos verificar na figura 3.5.

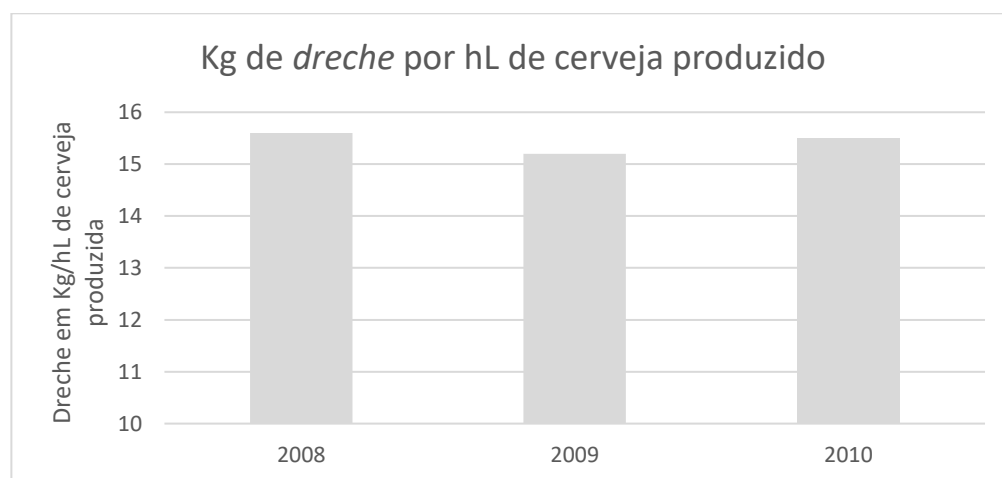


Figura 3.5: *Dreche* com destino à alimentação animal. Os valores são medidos em kg/hL de cerveja produzida. Dados retirados do questionário (Donoghue *et al.*, 2012).

Devido à composição rica em minerais, fibras e proteínas, revela-se um excelente suplemento alimentar para ruminantes. Quando combinado com fontes de nitrogénio económicas, tais como a ureia, fornece todos os aminoácidos essenciais (M. Gupta *et al.*, 2010), melhora a qualidade da carne (Bolwig *et al.*, 2019) e melhora a produção de leite sem afetar a sua fertilidade (Sawadogo *et al.*, 1989). No entanto é recomendado que este seja misturado com outros alimentos, numa proporção não superior a 75% (Faccenda *et al.*, 2017; Jackowski *et al.*, 2020).

O seu consumo também foi investigado para outras aplicações, inclusive aves e peixes, como podemos verificar na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Potenciais aplicações da *dreche* de acordo com os dados bibliográficos.

Aplicações	Referências bibliográficas
Nutrição animal (galinhas, vacas, peixes, porcos)	Martin <i>et al.</i> (2020); Kaur & Saxena (2004)
Nutrição humana (pão, biscoitos, massa pizza, produtos cárneos)	J. L. Santos <i>et al.</i> (2022); Silva <i>et al.</i> (2021); Petrovic <i>et al.</i> (2017); Gupta <i>et al.</i> (2013); Ainsworth <i>et al.</i> (2007);
Bioenergia e biogás	Celaya <i>et al.</i> (2015); Kafle & Kim (2013)
Concentrados protéicos	Yu <i>et al.</i> (2020); Niemi <i>et al.</i> (2013); Tang <i>et al.</i> (2009); Marković <i>et al.</i> (1995); Faulds <i>et al.</i> (2009)
Bioprocessos para a produção de:	
Etanol	(Meneses <i>et al.</i> , 2013); Gencheva <i>et al.</i> , (2012); Xiros <i>et al.</i> , (2008)
Ácido láctico	(Mathias <i>et al.</i> , 2014)
Gomas e biopolímero	Mussatto <i>et al.</i> (2007); Stredansky & Conti (1999)
Antibióticos	Khan <i>et al.</i> (2009)
Enzimas	Hashemi <i>et al.</i> (2011); Adeniran <i>et al.</i> (2010); Gregori <i>et al.</i> (2008)
Suporte para imobilização das células	Kopsahelis <i>et al.</i> (2007); Dragone <i>et al.</i> (2007)
Produção de mosto de cerveja para cervejas de baixo teor alcoólico	Andrews & Burton (2004)
Extração de óleos	Priest & Stewart (2006)
Extração de compostos bioativos (fenólicos)	Meneses <i>et al.</i> (2013); Martins <i>et al.</i> (2011)
Substratos para cultivo de cogumelos	Chimini <i>et al.</i> (2020)

Kaur & Saxena (2004) investigaram o seu uso na alimentação de peixes de cativeiro e concluíram que a dieta de farelo de arroz quando misturada com *dreche* (até 40%), melhora o desempenho do crescimento, graças às proteínas de alta qualidade e aminoácidos

essenciais nomeadamente cisteína, lisina e metionina presentes na dieta fornecida pela *dreche*.

É de salientar que para ração animal, a *dreche* pode ser utilizada diretamente após ser retirada do processo ou pode passar por um processo de secagem ou desidratação. Estes últimos implicam equipamentos e elevados consumos energéticos (Priest & Stewart, 2006). Segundo Brust *et al.* (2015), o uso incorreto ou o armazenamento de forma inadequada da *dreche* húmida, podem ser responsáveis por quadros de intoxicação animal, como por exemplo etanol, *Aspergillus clavatus*, doenças metabólicas ou botulismo, diarreias, diminuição da fertilidade e complicações no período perinatal. Por ser uma matéria-prima perecível, deverá ser armazenada a baixas temperatura, aproximadamente 5 °C e consumida dentro de 2 a 3 dias (Jackowski *et al.*, 2020). Ben-Hamed *et al.* (2011) consideram que o retorno económico do uso de *dreche* na alimentação animal só se justifica para explorações agrícolas próximas da cervejeira fornecedora, não só devido ao custo do transporte, como também devido à sua logística.

Uma desvantagem em utilizar *dreche* para alimentação das aves é o facto da maioria dos polissacarídeos da parede celular, incluindo o arabinóxilano e os β -glucanos, presentes na *dreche*, não serem digeridos no trato intestinal. As aves não possuem as enzimas necessárias para a hidrólise destas cadeias poliméricas, sendo necessário, para um melhor aproveitamento, a adição da enzima xilanase e a β -glucanase (S. Mussatto, 2014). No entanto McCarthy *et al.* (2013) mostraram que o uso da *dreche* na ração das aves tem impacto na produção de ovos, mais uma vez, devido à presença dos aminoácidos essenciais.

Em alternativa à alimentação animal, este subproduto pode ser depositado nos terrenos agrícolas. Em quantidades moderadas, pode atuar como fonte de nutrientes e fertilizante natural devido à presença de alguns minerais como o fósforo e o potássio (Hejna, 2021; Mbagwu & Ekwealor, 1990). São-lhes atribuídas também propriedades antissépticas, como é o caso de algumas larvas (Jackowski *et al.*, 2020).

3.1.1.2 Nutrição Humana

A *dreche* é considerada um ingrediente ideal para alimentação humana por ser abundante durante todo o ano, ter baixo custo e conter muitos nutrientes necessários à dieta humana, como vitaminas, fibras e minerais (Ikram *et al.*, 2017; Jackowski *et al.*, 2020). Vários estudos mostram a intenção de integrá-la na nossa alimentação, como em pão, biscoitos, bolachas e em produtos de origem animal. Assim obter-se-ia um incremento de nutrientes, em detrimento de ingredientes calóricos, com elevados teores de lípidos, açúcares e amido, como demonstraram recentemente Santos *et al.* (2022) num estudo de produção de barras de cereais com este subproduto.

No entanto existem algumas limitações na sua utilização. Devido ao elevado teor de humidade, a *dreche* deve ser tratada logo quando sai do processo de produção da cerveja. Evita-se o desenvolvimento de microrganismos tais como bactérias microaerofílicas, aeróbicas e estritamente anaeróbicas, mesófilas e termofílicas, fungos filamentosos como *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, *Mucor spp.*, *Penicillium spp.*, e *Rhizopus spp.* (Bianco *et al.*, 2020). A sua aparência também apresenta algumas restrições na sua aceitação. Apresenta-se em grumos de vários tamanhos, com uma textura pouco apelativa do ponto de vista sensorial, pelo que é recomendável ser moída em farinha (Lynch *et al.*, 2016). Segundo Petrovic *et al.* (2017), a sua cor e sabor nem sempre têm grande aceitação no mercado. Para Mussatto (2014) a qualidade do produto final e a intenção de compra por parte do consumidor, cada vez mais exigente, carecem de mais atenção. Já em 1977, Prentice & D'Appolonia, avaliaram o desempenho da *dreche* em produtos de panificação, assim como o comportamento do consumidor perante esse novo produto. É curioso identificar que na época foram obtidos resultados bem satisfatórios (Prentice & D'Appolonia, 1977).

Devido à sua composição, nos últimos anos, o interesse por este ingrediente tem vindo a aumentar. Deve-se principalmente à presença de componentes bioativos nomeadamente os compostos fenólicos, ácidos hidroxibenzoicos (HBAs) e hidroxicinâmicos (HCAs). São considerados excelentes antioxidantes, antialérgicos, anti-inflamatórios e estão também associados à prevenção de doenças crónicas, como doenças

cardiovasculares, doenças neurodegenerativas, diabetes (tipos I e II), e certos tipos de cânceres (Ikram *et al.*, 2017; Martins *et al.*, 2011).

Os compostos fenólicos podem ser extraídos da *dreche* por vários métodos: i) através da hidrólise enzimáticas e ii) por extração química (Meneses, Martins, *et al.*, 2013). A hidrólise ácida rompe a estrutura lignocelulósica por meio da solubilização da hemicelulose, o que promoverá um aumento da digestibilidade da celulose nas etapas posteriores (Wang *et al.*, 2017). A extração química permite utilizar ácidos, bases ou solventes orgânicos. Geralmente os ácidos utilizados são o sulfúrico, clorídrico e o fosfórico. Por outro lado, a hidrólise alcalina é o método que facilmente dissolve a lignina, tornando a hemicelulose e a celulose mais disponíveis a processos de hidrólise posteriores, sem grandes impactos ambientais. Os agentes alcalinos mais usados são: o hidróxido de sódio, o hidróxido de potássio, entre outros (Mussatto *et al.*, 2007). A principal desvantagem deste método de extração é a desacetilação da hemicelulose, gerando ácido acético em solução (Mussatto *et al.*, 2007).

Para a hidrólise enzimática é necessário um conjunto de enzimas que atuam sinergicamente para o desdobramento do material. O grupo de enzimas mais utilizado são as celulasas, hemicelulasas e ligninases. Este método envolve a ação sinérgica e simultânea das enzimas, ou seja, as endoglucanases hidrolisam as ligações β -(1-4) acessíveis no interior da molécula e geram novas terminações de cadeia, a partir das quais as exoglucanases atacam os terminais redutores da cadeia de celulose e liberam celobiose ou glicose. As β -glicosidases hidrolisam a celobiose em glicose e com isso impedem a inibição da ação das exoglucanases (Chemnés *et al.*, 2008). Atualmente o custo das enzimas pode ser um fator limitante de sua utilização. Este método é conhecido por se utilizar condições moderadas (pH 5,0 e temperatura 45–50 °C, aproximadamente), além de não existir o problema de corrosão dos equipamentos industriais (Chemnés *et al.*, 2008).

Esses compostos resultantes da extração, nomeadamente o ácido coumárico, o ácido ferúlico, o ácido cafeico e o ácido sinápico, como podemos verificar na figura 3.6, representam uma alternativa promissora para as indústrias, tanto alimentar como

farmacêutica, pois melhoram a qualidade e o valor nutricional dos alimentos e apresentam excelentes propriedades antioxidantes (Meneses *et al.*, 2012; Lynch *et al.*, 2016).

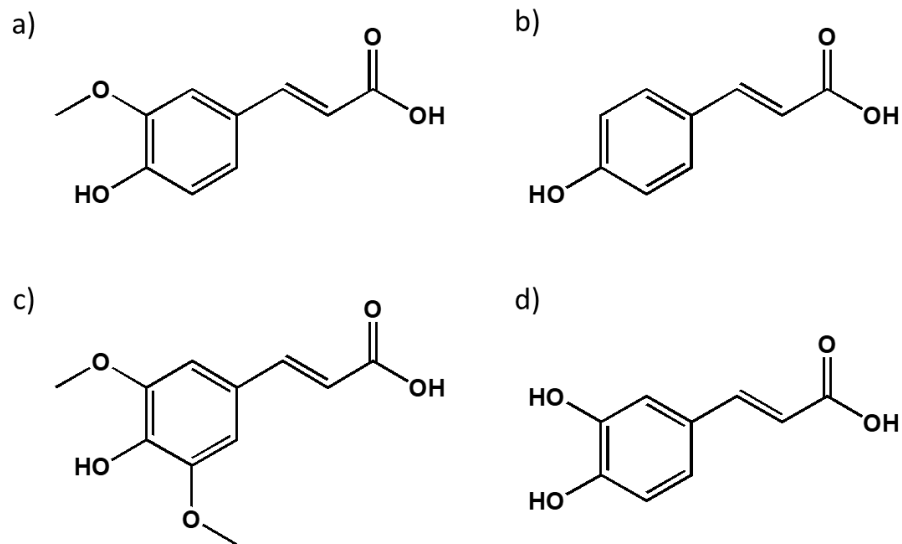


Figura 3.6: Estrutura química dos principais compostos fenólicos da dreche. a) ácido ferúlico; b) ácido coumárico; c) ácido sinápico; d) ácido cafeico (Hejna, 2021).

A extração de proteínas também se tem revelado potencialmente atrativa para a indústria alimentícia devido à elevada percentagem na *dreche* (cerca de 20% em matéria seca). São vários os métodos de extração com bons resultados nomeadamente os processos enzimáticos assistidos por ultrassons, por tratamento alcalino ou por uma combinação de pré-tratamento alcalino com ácido diluído, com resultados próximos dos 95% (Jackowski *et al.*, 2020).

3.1.1.3 Aplicação das fibras lignocelulósicas

O complexo celular da biomassa vegetal é formado por material lignocelulósico, o qual é constituído principalmente de celulose, hemicelulose e lignina. Relativamente ao valor associado a esta família de compostos lignocelulósicos, o mesmo tem sido alvo de inúmeros estudos, para além da indústria de celulose e papel (Hejna, 2021; Daioglou *et al.*, 2015).

Atualmente, esta biomassa tem despertado bastante atenção como substituto dos recursos fósseis para a produção de biocombustíveis, biopolímeros e compósitos (Daioglou *et al.*, 2015). São interessantes, do ponto de vista económico e ecológico, provenientes de fontes renováveis, assumindo-se como uma alternativa sustentável de gestão de resíduos (Hejna, 2021). As fibras lignocelulósicas da *dreche* podem ser convertidas em biocombustíveis através de processos específicos de conversão química, como a pirólise ou a carbonização, ou através de conversão bioquímica, por digestão anaeróbica ou fermentação.

Para além da elevada percentagem de material lignocelulósico, a *dreche* apresenta um teor em carbono entre 35% até aproximadamente 52% e um teor em cinzas entre 2 e 5% em matéria seca (Tabela 3.1). Esta composição é semelhante a outras biomassas lignocelulósicas, diferenciando-se no teor de humidade, que ronda os 77%, o qual dificulta a utilização deste resíduo como biocombustível sólido (Jackowski *et al.*, 2020). Outro desafio para o uso das fibras da *dreche* como matéria-prima é a rotura do complexo lignocelulósico, sem comprometer os açúcares hemicelulósicos e sem formar produtos tóxicos que dificultam a hidrólise e a fermentação, minimizando energia e produtos químicos no processo de conversão (Buffington, 2014). O processo de hidrólise, para além de extrair açúcares da estrutura da lignocelulose, também extrai compostos tóxicos para os microrganismos, provenientes do método de conversão da lignina ou mesmo da matéria-prima. Para maximizar a fermentação, o hidrolisado lignocelulósico deve ser submetido a um processo de desintoxicação para se tornar num meio propício ao desenvolvimento microbiano (S. Mussatto & Teixeira, 2010). Inevitavelmente, a conversão requer uma hidrólise química ou enzimática de modo a disponibilizar o máximo possível dos açúcares fermentáveis de forma a aumentar os rendimentos (S. Mussatto & Teixeira, 2010).

Os açúcares fermentáveis obtidos a partir desta hidrólise, podem ser microbiologicamente convertidos em diversos produtos. Alguns exemplos ilustrativos são a produção de etanol por *Saccharomyces cerevisiae*, xilitol por *Candida guilliermondii*, xilitol, arabitol e glicerol por *Debaryomyces hansenii*, e ácido láctico por *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus pentosus* ou *Lactobacillus rhamnosus* (S. Mussatto, 2009).

Estas moléculas são compostas por múltiplos grupos funcionais com elevado potencial, útil em diversos tipos de indústrias, tais como química fina, alimentícia e até mesmo têxtil. É de salientar que o ácido láctico pode ser obtido por meios químicos ou biotecnológicos. No entanto, a produção deste ácido a partir de processos fermentativos tem aumentado e é bem mais promissora. Submetendo o material lignocelulósico a um pré-tratamento de forma a tornar a celulose disponível às enzimas, seguido da sacarificação enzimática de forma a obter uma solução de glicose como açúcar principal e, por fim, a fermentação dos hidratos de carbono presentes no hidrolisado, por intermédio de bactérias lácticas, como já foi referido (Sakdaronnarong *et al.*, 2014). O ácido láctico (ácido 2-hidroxiopropanóico, LA) é o constituinte unitário do PLA (ácido polilático), o qual é considerado um biopolímero renovável e biodegradável com variadíssimas aplicações. Está em franca ascensão com expectativas em termos comerciais e ambientais (Chetrariu & Dabija, 2020).

3.1.1.4 Produção de energia através da fermentação anaeróbica

A crescente procura por energias renováveis vai ao encontro do aumento da consciência sobre o tema das alterações climáticas, e que estão associadas com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e com a crise mundial dos recursos fósseis (Matos *et al.*, 2018).

Uma alternativa para a produção de energia a partir de *dreche* é a fermentação anaeróbica. A vantagem do processo de biogás é a possibilidade de utilizar os constituintes polissacáridos da biomassa para a produção de energia, por exemplo, energia elétrica e calorífica nas suas próprias instalações (Antunes & Silva, 2011). A conversão da biomassa lignocelulósica em açúcares solúveis e fermentescíveis é considerada uma etapa chave para o sucesso desta tecnologia. O pré-tratamento por via química é um dos métodos mais utilizados para a hidrólise da fração hemicelulósica (Matos *et al.*, 2018).

A biodegradação anaeróbica destes materiais em ambientes desprovidos de O₂ origina metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e outros gases devido a atividade de microrganismos anaeróbicos. O biogás é composto por cerca de 70% (v/v) de metano, de 30% de dióxido de carbono e de resíduos de amoníaco (NH₃), e de sulfureto de hidrogénio

(H₂S) (Chetrariu & Dabija, 2020). Além de produzir metano, produz também uma elevada concentração de nitrogénio, fósforo e potássio (NPK) produzindo um efluente que pode ser utilizado como biofertilizante (Kafle & Kim, 2013).

Com o objetivo de aumentar a produtividade, atualmente assiste-se a um aumento de interesse na manipulação genética de microrganismos (bactérias e leveduras). Através da manipulação de genes, procura-se otimizar a assimilação e fermentação de açúcares obtidos a partir dos materiais lignocelulósicos, de forma a se obter maior rentabilidade no processo de fermentação e consequentemente maior produção de biogás (Antunes & Silva, 2011).

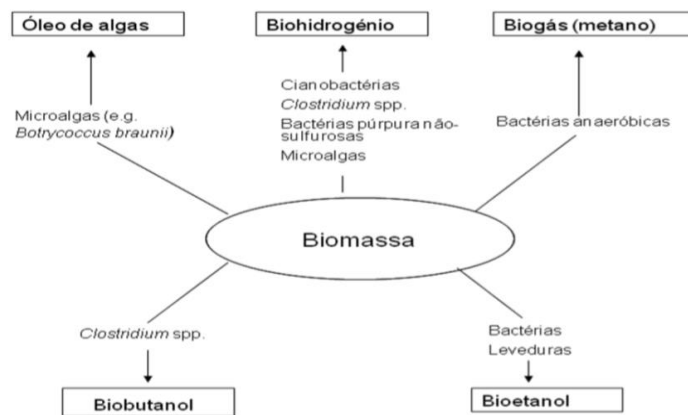


Figura 3.7: Biocombustíveis obtidos a partir de microrganismos, tendo como substrato biomassa (Antunes & Silva, 2011).

Também por fermentação microbiológica do hidrolisado hemicelulósico dá-se a produção de bioetanol (Fig. 3.2). Neste tipo de fermentação alcoólica, para uma eficiente produção de etanol é necessário o uso de microrganismos capazes de fermentar as pentoses resultantes do pré-tratamento, como por exemplo a levedura *Scheffersomyces stipitis* (Matos *et al.*, 2018).

O bioetanol é um combustível renovável e o seu uso pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa quando utilizado para substituir o petróleo bruto. Apesar das suas potencialidades como substituto de combustíveis fósseis, esta biotransformação de biomassa tem sofrido algumas críticas. Teme-se que a competição aumente a procura por produtos lignocelulósicos alimentares e não alimentares e

consequentemente assista-se à desflorestação e ao aumento dos preços dos alimentos (Tse *et al.*, 2022; Oladeji *et al.*, 2016).

3.1.1.5 Produção de energia através da combustão

A produção de energia a partir dos subprodutos industriais é motivada pela subida dos preços dos combustíveis fósseis, pela escassez de recursos, pela instabilidade política nos países produtores, assim como, pela pegada ecológica, eficiência e uso ponderado. Tudo indica que a biomassa lignocelulósica desempenhará um papel cada vez mais importante na produção de energia renováveis em todo o mundo. Para S. Mussatto, (2014) a *dreche* apresenta valores caloríficos líquidos e brutos de 18,64 e 20,14 MJ kg⁻¹ de massa seca respetivamente, pelo que pode ser considerado como uma matéria-prima interessante para produzir energia por combustão.

Para um processo de combustão mais eficiente, é necessário submeter a *dreche* a um pré-tratamento de forma a reduzir o seu teor de humidade para valores inferiores à 55%, o qual representa investimentos e custos energéticos (Nordholm, 2020). A combustão é um processo químico, que ocorre em três estágios: ignição, combustão com chama e combustão com ausência de chama, no qual ao longo deste processo a biomassa reage com o oxigénio, produzindo calor (Arbex *et al.*, 2004). A emissão de compostos voláteis orgânicos produzidos durante estes processos térmicos são questões a considerar. Segundo Johnson *et al.* (2010), são emitidos gases tóxicos durante a combustão da *dreche* como dióxido de nitrogénio (NO₂) e óxidos de enxofre (SO₂). Também para Arbex *et al.*, (2004) as partículas de poeira provenientes da queima, também provocam infeções respiratórias. Estes compostos podem ameaçar a saúde humana e o meio ambiente, podem ser tóxicos para a vida aquática e são frequentemente caracterizados pela elevada capacidade de inflamabilidade (Hejna *et al.* 2021).

3.1.1.6 Produção de Carvão Ativado

A produção de carvão ativado (CA) através de fibras lignocelulósicas é uma outra abordagem. O CA é constituído basicamente por carbono, com uma estrutura interna muito porosa e elevada área superficial, com a capacidade de filtrar gases, líquidos ou impurezas, apresentando, portanto, um excelente poder de clarificação, de suprimir odores e de purificação de líquidos ou gases. O processo de produção de CA consiste em duas principais etapas de processamento: 1) carbonização da biomassa e 2) ativação. O processo de carbonização consiste no tratamento térmico, também conhecido como pirólise do material precursor normalmente em atmosfera inerte a uma elevada temperatura. Trata-se de um procedimento de preparação do material onde são removidos os compostos químicos voláteis (H, N e O) e os gases leves (CO₂, H₂, CO e CH₄), em detrimento do aquecimento e decomposição das moléculas, formando assim uma massa de carbono fixa de estrutura porosa primária. O processo de ativação pode ser através de processos químicos ou físicos. Consiste na submissão do material carbonizado a reações químicas/físicas visando o aumento da área superficial e da porosidade (Jackowski *et al.*, 2020).

3.1.1.7 Dreche nos materiais da construção civil

A *dreche* também tem vindo a ser estudada na área da construção civil, por apresentar algumas propriedades importantes para os materiais da construção, nomeadamente o elevado teor de fibras e baixo valor de cinzas (Russ *et al.*, 2005).

Sem a necessidade de submeter a *dreche* a processos de secagem ou de moagem, pode ser utilizada diretamente, como auxiliar, na produção de tijolos. Esta incorporação contribui para o incremento de algumas das propriedades físicas, nomeadamente resistência mecânica, porosidade e condutividade térmica do material cerâmico (Ferraz *et al.*, 2013).

Contrariamente às alternativas já apresentadas, aqui o elevado teor de humidade apresenta-se como uma vantagem. O consumo de água na concessão do tijolo é menor e

a capacidade calorífica fornecida reduz o consumo de combustível durante a fase de cozedura.

Este subproduto oferece uma alternativa viável e ecológica para aumentar a porosidade dos tijolos cerâmicos, ao invés de utilizar o material sintético tradicional formador de poros (poliestireno expandido). Contribui para o isolamento térmico e para o aumento da resistência mecânica à flexão a seco. Russ *et al.*, (2005) consideram que 3,5% de *dreche* no material de construção é suficiente obter um tijolo com maior ou igual resistência mecânica à flexão, maior porosidade e melhor isolamento térmico.

3.1.1.8 Outras aplicações

A exploração de aplicações alternativas engloba potenciais ganhos, principalmente quando estes subprodutos representam custos para a sua rejeição como resíduos ou quando são doados gratuitamente (Bolwig *et al.*, 2019). Como biomassa de baixo custo prontamente disponível, a *dreche* continua sendo um recurso interessante no desenvolvimento industrial (Robertson *et al.*, 2010), assim como a produção de produtos químicos, farmacêuticos e biocombustíveis (Bolwig *et al.*, 2019; Oladeji & Alade, 2016). A *dreche* contém inúmeras moléculas orgânicas com os mais diversos grupos funcionais, tais como: grupos álcool, amina e carboxílicos. Estes grupos funcionais podem ser excelentes candidatos para a remoção de substâncias voláteis presentes nos gases de exaustão, bem como usados para a remoção de contaminantes em águas residuais, tais como os metais pesados (chumbo, cromo, zinco, cobre e cádmio) e ainda corantes orgânicos e inorgânicos (Ikram *et al.*, 2017).

3.2 Resíduos e partícula de Lúpulo (*trub*)

Trub é um precipitado que é removido após a ebulição do mosto, antes da fermentação (Fig. 3.8). Estima-se que 1 hL de cerveja produza 0,3 kg de *trub* (Karlović *et al.*, 2020). Segundo Olajire (2012), a *trub* representa cerca de 0,2–0,4% do volume do mosto.



Figura 3.8: amostra de trub, à saída do processo de fabrico.

É constituído essencialmente por partículas de lúpulo, 7–15% de substâncias amargas, 40–70% de coágulos de proteína, 20–30% de outros compostos orgânicos como polifenóis e óleos essenciais, substâncias minerais e fibras (Priest & Stewart, 2006). Aproximadamente 85% do material de lúpulo adicionado à cerveja é removido do processo como subproduto (Kao, 2016). No entanto a quantidade de *trub* formada depende de vários fatores, nomeadamente do tipo de lúpulo usado, do teor de proteína do malte, da quantidade de protólise durante maltagem, do teor de polifenóis e do método de ebulição (Priest & Stewart, 2006).

3.2.1 Principais utilizações da *Trub* como matéria-prima

Vários estudos apontam para um reaproveitamento deste subproduto em fertilizante, em óleos essenciais repelentes de insetos, na indústria de papel e até mesmo na indústria de tintas, após oxidação ou hidrólise deste material (Kerby & Vriesekoop, 2017; Priest & Stewart, 2006). O sabor residual amargo característico do lúpulo torna difícil a utilização deste subproduto *per se* como alimento para animais (Kerby & Vriesekoop, 2017). No

entanto, a mistura da *trub* à *dreche* em proporções que não comprometa as características sensoriais do produto final, aumenta seu valor nutricional (Kerby & Vriesekoop, 2017; Priest & Stewart, 2006).

É frequente os cervejeiros reinserirem a *trub* no processo de fabrico, de forma a reaproveitar o máximo possível de mosto remanescente. Normalmente é inserido na etapa da filtração do mosto, de forma a ser filtrado juntamente com a *dreche*. Desta forma misturam-se ao longo do processo e terão o mesmo destino. Esta prática, para além de contribuir para a valorização dos subprodutos, contribui também para a economia circular da empresa e sua sustentabilidade. No entanto, são necessários alguns procedimentos de controlo para não comprometer as propriedades do produto final. Não podemos esquecer que a *trub* é constituída por polifenóis e substâncias amargas, os quais vão incrementar turvação e sabores indesejados à cerveja. O uso de agentes estabilizantes como enzimas proteolíticas, poderá auxiliar esta etapa.

Outro método de reaproveitamento deste subproduto é juntar a *trub* à levedura. Segundo S. Mussatto (2009), este procedimento aumenta a vitalidade e o rendimento da levedura, bem como o desempenho da fermentação devido aos vários componentes presentes na *trub* quente, como lípidos e zinco.

3.3 Resíduo de Levedura

A levedura é retirada no final do processo de fermentação, por meio de filtros de placas ou por centrifugação, podendo ser reintroduzida no processo de inoculação para outras cubas de fermentação. Estas células multiplicam-se várias vezes, podendo ser utilizadas até várias gerações, de forma a manter a eficiência de produção e a qualidade da bebida (Olajire, 2012). São vários os fatores que afetam o crescimento e desempenho da levedura, como por exemplo: o tipo de levedura, as condições de inoculação, o teor de glicogénio, de aminoácidos, de gorduras livres, de ácidos e minerais como o zinco (Priest & Stewart, 2006). Termina a possibilidade de reutilização, quando a levedura apresenta elevada taxa de mortalidade, sendo removida do processo como resíduo.

Este resíduo da cerveja merece alguma atenção, não só pelo volume produzido, mas também pelas suas propriedades químicas e nutricionais. Devido a sua capacidade de reprodução, multiplica-se cerca de 3 a 5 vezes, gerando um excedente de produção, tornando-se o segundo maior subproduto das cervejeiras (S. Mussatto, 2009). Estima-se que são produzidas anualmente cerca de 15 a 18 toneladas de levedura excedente por 10.000 hL de cerveja vendida (Kunze, 2010). Corresponde a 15% do total de subprodutos gerados no processo de fabrico da cerveja (Hejna, 2021).

Dependendo das propriedades da levedura, este subproduto pode conter cerca de 75 a 90% de teor de humidade, o que equivale a uma perda de cerveja na ordem dos 1,5 a 3,0% (Olajire, 2012). É composto por níveis relativamente altos de proteína (45–60%) e baixos níveis de açúcares redutores. O teor de carbono orgânico total foi estimado em aproximadamente 45% de matéria seca (MS). As percentagens aproximadas de MS relativamente ao teor de cinzas, nitrogénio total e proteína total na levedura são respetivamente 6, 9 e 45,6% (Puligundla *et al.*, 2020).

Segundo Mussatto (2009), as condições fisiológicas e a fase de crescimento da levedura determinam as suas propriedades nutricionais. Este subproduto é uma fonte de nitrogénio, com boas características nutricionais e sabor muito amargo. É provido de inúmeras proteínas, principalmente em aminoácidos essenciais, tais como histidina, leucina, lisina, entre outros (S. Mussatto, 2009). Além disso, é um rico em β -glucanos, mono e oligossacarídeos (Puligundla *et al.*, 2020). Apresenta uma variedade de vitaminas do complexo B, nomeadamente biotina, colina, ácido fólico, ácido pantoténico, riboflavina, tiamina, piridoxina, niacina e uma infinidade de minerais, sobretudo potássio e fósforo (Kerby & Vriesekoop, 2017; S. Mussatto, 2009). O aproveitamento dos resíduos de levedura como matéria-prima com diferentes usos pode incrementar oportunidades adicionais à indústria em termos de sustentabilidade, tanto económica como ambiental, porém, ainda é subutilizado, principalmente, para alimentação de suínos e ruminantes a baixo custo (Ferreira *et al.*, 2010).

3.3.1 Principais utilizações do resíduo de levedura como matéria-prima

Alguns produtores continuam a descartar a levedura para aterros ou incineradoras, com todos os impactos e custos que daí advém, devido ao facto de ser uma matéria-prima perecível, ao elevado custo de transporte e necessidade de mais processamento/tratamento (Boateng *et al.*, 2015). Alguns estudos apontam para o aproveitamento do resíduo de levedura para fins alimentícios, tanto para enriquecimento nutritivo e funcional (S. Mussatto *et al.*, 2006), como coadjuvante de produção (aromatizantes, antioxidante e emulsionante) (Ferreira *et al.*, 2010) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3: Principais aplicações da levedura excedente com base nos dados bibliográficos.

Aplicações	Referencias bibliográficas
Nutrição animal e humana	(Zhang <i>et al.</i> , 2019); (Chae <i>et al.</i> , 2001);
Produção de agentes aromatizantes	(E. Vieira <i>et al.</i> , 2013); (Abbas, 2006)
Produção de Ácido Láctico	(Pejin <i>et al.</i> , 2019)
Concentrados beta-glucanos	(Bzducha-Wróbel <i>et al.</i> , 2014); (Liu <i>et al.</i> , 2008); (Thammakiti <i>et al.</i> , 2004)
Concentrados de proteínas	(Ganeva <i>et al.</i> , 2020)
Compostos fenólicos e antioxidantes	(E. F. Vieira <i>et al.</i> , 2016)
Produção de biogás	(Vitanza <i>et al.</i> , 2016); (Zupančič <i>et al.</i> , 2012); (Neira & Jeison, 2010)

Segundo estes, o resíduo de levedura é considerado seguro para consumo humano. No entanto a utilização da levedura íntegra em produtos alimentícios é geralmente limitada devido ao odor e sabor indesejáveis da levedura seca. Outro fator limitante na utilização da biomassa de levedura como fonte proteica para consumo humano é a quantidade de ácido nucleico, principalmente o ácido ribonucleico (RNA), que como sabemos consumido em grandes quantidades podem levar ao aumento níveis de ácido úrico (Puligundla *et al.*, 2020).

Os β -D-glucanos presentes na parede celular da levedura possuem várias funções fisiológicas. As cervejeiras podem gerar receita adicional isolando o β -glucano dos resíduos

de levedura como um produto de alto valor. Bzducha-Wróbel *et al.* (2014) avaliaram métodos de ruptura da parede celular da levedura para o isolamento de β -glucano. Os β -glucanos podem melhorar as propriedades funcionais dos produtos alimentícios, agindo como espessantes, emulsionantes e aglutinantes de óleo, ou agentes de retenção de água (Thammakiti *et al.*, 2004).

As leveduras são ricas fontes de proteínas, antioxidantes, vitaminas e outros compostos bioativos. A maior dificuldade na sua utilização como ingredientes valiosos na produção de alimentos funcionais e suplementos dietéticos é a parede celular espessa e indigestível. Ganeva *et al.* (2020) avaliaram a viabilidade do tratamento através de campo elétrico pulsados como método alternativo para extração de proteínas e outros compostos intracelulares bioativos de leveduras.

Estes resíduos também são utilizados como suplemento alimentar em bovinos, cavalos, aves, suínos e peixes (Karlović *et al.*, 2020). Nestes casos, o resíduo de levedura é vendido a baixo custo, após a inativação por calor. As leveduras secas são uma excelente fonte de proteína para suínos e ruminantes. No entanto, o consumo exacerbado pode trazer problemas no sistema digestivo das vacas, como cólicas, (Kunze, 2010) e intoxicação por etanol (Trujillo *et al.*, 2018). Segundo Ferreira *et al.*, (2010) o resíduo de levedura pode substituir 50% da proteína dos alimentos para peixes ou pode ser adicionada como um suplemento (até 30%) sem afetar negativamente o crescimento e o desenvolvimento do animal.

A tecnologia anaeróbica tem sido bem explorada no tratamento das águas residuais, tanto urbanas como das atividades industriais. No entanto, considerando o crescente interesse na produção de energia renováveis, a digestão anaeróbica por parte das leveduras para produção de biogás torna-se uma alternativa. A digestão anaeróbica nestes casos funciona muito bem, devido ao alto teor de matéria orgânica (Neira & Jeison, 2010), principalmente quando aplicados pré-tratamentos como a hidrólise enzimática, que contribui para uma melhor eficiência na produção de metano (biogás) (J. V. Oliveira *et al.*, 2018).

O resíduo de levedura foi usado como fonte de nitrogénio na fermentação por *Lactobacillus rhamnosus* do hidrolisado da *dreche*, com a finalidade de produção de ácido láctico (Pejin *et al.*, 2019). Conseguiram mostrar que a concentração de aminoácidos livres (FAN) do meio, aumenta com a adição de resíduo de levedura e conseqüentemente aumenta a produção de ácido láctico (Pejin *et al.*, 2019).

Capítulo IV



4. Trabalho realizado

4.1 Relevância do trabalho

Em 2014, a Comissão Europeia formulou um programa ambicioso que foi nomeado de *Pacote de Economia Circular*, para estabelecer sistemas produtivos e autossustentáveis. De entre todos os processos industriais, a indústria cervejeira apresenta um dos maiores impactos no meio ambiente, pela grande quantidade de subprodutos/resíduos que produz (Amoriello & Ciccoritti, 2021). A reutilização eficiente dos subprodutos gerados no sentido da economia circular, torna-se num fator diferenciador para estas empresas em particular. A valorização dos resíduos, não só reduz a pegada ecológica, como também poderá oferecer algumas vantagens em termos económicos. A produção de biocombustíveis surge também neste contexto como alternativa viável para reduzir a dependência de combustíveis líquidos não renováveis e derivados do petróleo, principalmente na conjuntura de crise energética que estamos a atravessar.

É neste ponto que se levantam algumas questões:

- 1) De que forma os produtores portugueses estarão a tratar os seus resíduos? Quais as suas motivações e quais as barreiras para o fazer?
- 2) Estará o consumidor preocupado com estas questões de sustentabilidade ambiental?
- 3) De que forma a sustentabilidade ambiental poderá influenciar o ato de compra?

4.2. Estratégia metodológica

No sentido de responder às questões anteriores, este trabalho foi organizado da seguinte forma:

- I) Pesquisa das formas mais rentáveis e mais utilizadas para rentabilizar os subprodutos da produção de cerveja;

- II) Realização de um estudo exploratório baseado no método de investigação qualitativa, através de uma entrevista, que segundo Sousa e Baptista (2014) é o método adequado para recolha de informação específica, de forma a se perceber de que maneira os produtores de cerveja estão a valorizar os seus subprodutos; e
- III) Realização de um estudo exploratório baseado no método de investigação quantitativa e relacional, através de um questionário. Ainda segundo os autores acima referidos, este método permite-nos perceber de que forma as questões de sustentabilidade influenciam o consumidor no ato de compra.

4.3. Produtores e os seus Subprodutos

Neste subcapítulo usou-se uma metodologia de pesquisa exploratória qualitativa, com o objetivo de estudar a sustentabilidade económica e ambiental dos subprodutos de algumas cervejeiras portuguesas. De forma resumida, com este estudo exploratório pretende-se:

- 1) Identificar o destino final que os produtores dão aos subprodutos da cerveja;
- 2) Perceber de que forma os produtores valorizam os resíduos;
- 3) Aferir os impactos económicos e ambientais;
- 4) Entender se têm apoios externos para os investimentos associados;

5) Aferir se a opinião do consumidor final tem peso na tomada de decisão. Para tal, estipulou-se que o universo da pesquisa seria composto pelas 100 cervejeiras registadas no Guia dos Cervejeiros em Portugal em 2021 (APCV, 2021) como podemos verificar na figura 4.1.



Figura 4.1: Universo cervejeiro registado em Portugal em 2021 (APCV, 2021).

A partir deste universo, fez-se uma estratificação da população em 6 regiões: Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo, Algarve, Arquipélago da Madeira e dos Açores. A figura 4.2 apresenta a divisão realizada por região, considerando a percentagem de cervejeiros por região.

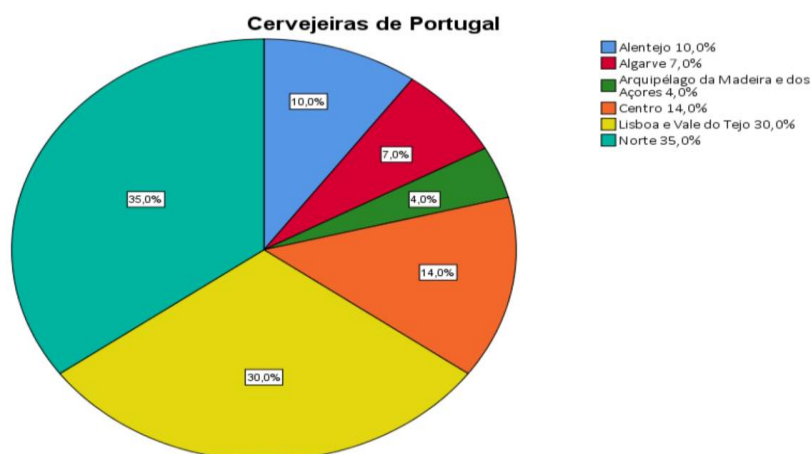


Figura 4.2: Distribuição das 100 cervejeiras agrupados por regiões.

Esta análise visa a compreensão de dinâmicas e relações sociais, baseando-se em aspetos não quantificáveis, de carácter exploratório (Ghiglione & Matalon, 1992), com base num guião (ver em anexo I) com tópicos pré-definidos, com relevância para o estudo. Trata-se de uma entrevista semiestruturada, ou seja, que permite uma articulação conforme a entrevista vai decorrendo.

Foi usada uma amostra estratificada que, segundo Sousa e Baptista (2014), é a técnica de amostragem que utiliza a informação existente sobre a população, para que o processo de amostragem seja mais eficiente. Estabeleceu-se como objetivo pelo menos uma

entrevista por região, tendo sido obtidas 9 entrevistas, com duração de 20 a 35 minutos, todas efetuadas no mês de março do corrente ano.

A realização da entrevista foi dirigida pelo autor, através de dois canais, um deles pessoalmente e as restantes por via telefónica às cervejeiras de norte a sul de Portugal, incluindo os arquipélagos da Madeira e Açores.

O guião utilizado nas entrevistas abordou tópicos como características e classificação da empresa; enumeração e quantificação dos resíduos do processo; cadeia de valor dos subprodutos (investimentos, recursos humanos e tecnologia); valorização dos subprodutos; barreiras e motivações (Ver anexo I).

Com base na caracterização e classificação das cervejeiras elaborou-se uma tabela ilustrativa da amostra analisada (Tabela 4.1). Alguns dos entrevistados pediram anonimato, pelo que foram atribuídos códigos a todas as cervejeiras de forma a respeitar a decisão dos entrevistados. Ao longo da análise de conteúdos, a referência a estas empresas é feita por código, para garantir a confidencialidade das informações obtidas nas entrevistas.

Tabela 4.1: Caracterização e classificação das cervejeiras em estudo.

Cervejeiras entrevistadas	Produção anual (hL)	Classificação da empresa	Certificação ambiental	Zona do País	Entrevistado
C1	480	Pequena	Sim	Zona Sul	Responsável de Produção
C2	600	Pequena	Não	Zona Sul	Proprietário
C3	800	Pequena	Não	Alentejo	Cervejeiro
C4	-	Pequena	Não	Zona Centro	Cervejeiro
C5	120	Pequena	Não	Norte	Proprietário
C6	13.000	Média	Não	Região Autónoma da Madeira e dos Açores	Diretor Produção
C7	120.000	Grande	Sim	Região Autónoma da Madeira e dos Açores	Diretor Produção
C8	1.600.000	Grande	Sim	Zona Centro	Adjunto Produção
C9	3.200.000	Grande	Sim	Norte	Cervejeiro

Para levantamento de dados, foram contactadas ao todo 20 cervejeiras, das quais apenas se conseguiu efetivamente falar com 10 representantes. Das 10 empresas, uma foi desconsiderada por já não operar nesta área de negócio. As 9 empresas que concordaram em participar na entrevista representam apenas 9,1% da população total do estudo. Resumindo, a amostra final contemplou duas cervejeiras da Zona Sul, uma cervejeira do Alentejo, duas da Zona Centro, duas da Zona Norte e por fim duas dos Arquipélagos Autónomos da Madeira e dos Açores. Como se pode observar na tabela 4.1 a amostra possui cervejeiras de diversas classificações, relativamente ao tamanho e capacidade produtiva, abrangendo desta forma um vasto leque de empresas, desde a unipessoal até empresas com 200 colaboradores.

4.4 Resultados e discussões

Com base nos resultados das entrevistas com as cervejeiras, foi efetuado nesta seção a discussão e a análise da forma como os produtores nacionais estão a tratar e a valorizar os seus subprodutos. Para melhor interpretação, as respostas foram agrupadas por questões.

4.4.1 Identificação e quantificação dos subprodutos

A tabela 4.2 apresenta o resumo/compilação dos conteúdos obtidos das entrevistas relativamente à identificação e quantificação dos subprodutos reconhecidos pelos cervejeiros.

Tabela 4.2: Identificação e quantificação dos subprodutos da amostragem.

	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
<i>Dreche + trub</i> (kg/ano)	50.000.000* (valor estimado)	20.000.000	2.400.000	200.000	1.800	n.q.	n.q.	3.000	2.400
Levedura (kg/ano)	6.000.000* (valor estimado)	2.800.000	110.000	n.q.					
Outros (kg/ano)	CO ₂	Pó de Malte: n.q.	CO ₂ : 240.000	-	CO ₂	-	-	-	CO ₂

n.q.: Não quantificado.

Como se pode constatar, existem dois tipos de cervejeiras em Portugal: uma indústria cervejeira com grandes produções anuais entre os 13.000 até aos 3.200.000 hL de cerveja e por outro lado, as microempresas, que são microcervejeiras, com produções anuais que rondam os 120 até os 800 hL de cerveja. Como é expectável a produção de subproduto é proporcional à quantidade de cerveja produzida. Sendo que as microcervejeiras produzem em média 2.400 kg de subprodutos por ano.

4.4.2 Visão geral do destino final dos subprodutos

Todas as cervejeiras entrevistadas entregam a sua *dreche* para a reciclagem. As entrevistas permitiram apurar três formas de reciclar a *dreche*. As grandes produtoras vendem este resíduo para empresas produtoras de ração animal ou vendem diretamente ao agricultor para alimentação animal. As microempresas doam este subproduto para alimentação animal e algumas vezes para compostagem para as explorações agrícolas próximas das instalações. À semelhança de outros resíduos agrícolas, como os resíduos de trigo (palha e grãos partidos), são também usados para alimentação animal (Tse *et al.*, 2022).

É importante salientar que esta prática de reutilizar este subproduto para ração animal é a solução encontrada por todas as cervejeiras portuguesas entrevistadas. Podemos concluir que esta prática é comum e está disseminada em Portugal. Este facto pode-se justificar através da partilha de experiências, que é promovida pela APCV, passando de cervejeira em cervejeira, alargando a consciência de todos em relação aos destinos para seus resíduos.

Bolwig *et al.* (2019) fizeram um estudo semelhante na Dinamarca e Noruega e também verificaram que quase todos os cervejeiros entrevistados estavam de certa forma ligados ou em contacto com agricultores. Usavam a *dreche* para fertilização dos seus próprios terrenos agrícolas e para a alimentação de bovinos e suínos. Também na América, a Cervejeira *Sierra Nevada*, bem conhecida pelas suas medidas de sustentabilidade tanto a nível ambiental como a nível energético, fornece a sua *dreche* para ração animal (Sierra Nevada & Brewing, 2015).

Souza *et al.* (2020) estudaram a composição da *dreche* e o destino que as cervejeiras artesanais da região sul do Brasil davam a este resíduo. Concluiu-se que a utilização deste subproduto era uma mais-valia devido às suas propriedades nutricionais. Os dados da pesquisa nessas cervejeiras também indicaram que 91% doavam para ração animal e 9% descartavam.

Como a *dreche* é rica em proteínas, fibras e hidratos de carbono este subproduto pode ser um bom complemento nutricional. Segundo Westendorf & Wohlt (2002), as porções de proteínas e fibras fornecidas pela *dreche* pode atender grande parte das doses diárias recomendadas para bovinos e cavalos.

É de notar que nas grandes cervejeiras (C6, C8 e C9) a *trub* sai juntamente com a *dreche*. Esta prática é uma forma de reaproveitamento que decorre no próprio processo. A *trub* é filtrada e é reintroduzida a montante, mais precisamente no fim da empastagem, como podemos verificar no esquema que se segue.

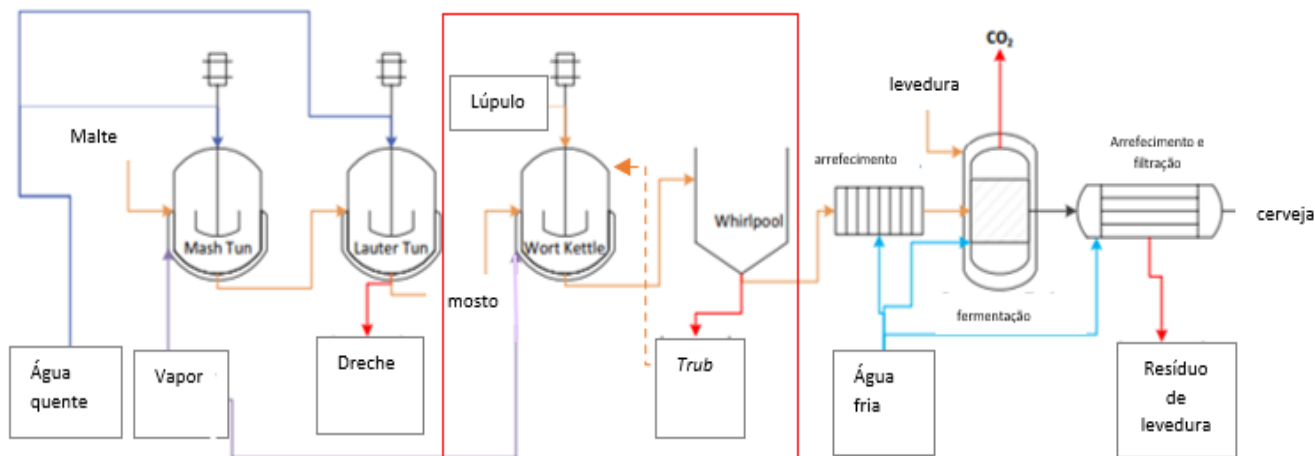


Figura 4.3: Processo produtivo da cerveja, com representação esquemática da recuperação da trub (Ortiz *et al.*, 2019).

Os entrevistados foram questionados sobre a possibilidade desta prática trazer alguns problemas de segurança alimentar e de qualidade do produto. Todos responderam que nunca tiveram problemas, que os processos estão controlados pelos seus laboratórios, com a exceção da C7, que confidenciou que em tempos faziam este reaproveitamento, mas que deixaram de o fazer, para resolver os problemas de turvação que advinham ser dos taninos

do lúpulo. O mesmo se verifica com as microempresas que não apresentaram qualquer reutilização para a *trub*, pois este resíduo valioso vai para o esgoto. Para além das questões ambientais, Mathias *et al.* (2014) afirmam que o descarte da *trub* promove perdas consideráveis de mosto, pois a sua fração aquosa é de 80 a 90%, o que equivale a quebras entre 1 e 2%. Para Sierra Nevada & Brewing (2015) a melhor forma de rentabilizar a *trub* é na fertilização dos seus terrenos agrícolas.

Por cada hectolitro de cerveja produzida saem do processo 0,3 kg de leveduras em forma de resíduo, o que corresponde a 15% dos subprodutos da cerveja. Este subproduto também promove consideráveis quebras de cerveja, na ordem dos 1,5 a 3,3% (Hejna, 2021). Um dos entrevistados recupera esta cerveja, fazendo passar todo o resíduo de levedura num filtro de membranas (promovendo uma ultrafiltração). O entrevistado afirma que esta cerveja tem muito extrato e álcool, sendo que compensa o investimento. A cerveja recuperada é introduzida em doses pequenas, antes do arrefecimento do mosto, de modo a esterilizar. Esta prática para além de reduzir as quebras, reduz o volume do resíduo, com mais matéria seca.

Outra boa prática de reaproveitamento ou de reutilização apontada pelos entrevistados é a reutilização da levedura até uma 6ª ou 7ª geração. Infelizmente os produtores artesanais não a reutilizam, arriscam apenas até uma 2ª geração. A falta de tecnologia e o facto de trabalharem com cervejas com maior teor de álcool compromete este reaproveitamento.

Relativamente ao destino final do resíduo de levedura, segue os mesmos passos que a *dreche*, vai maioritariamente para ração animal ou para fertilização de terrenos agrícolas. Apenas um entrevistado referiu que pontualmente vendem levedura para suplementos alimentares ricos em proteínas. Referiu também que o tratamento (desidratação) da levedura é da responsabilidade do comprador.

Quanto à valorização deste subproduto só as grandes empresas o conseguem fazer. Para as pequenas cervejeiras é um favor que os agricultores das redondezas fazem ao ficarem com estes resíduos. A acumulação destes resíduos origina grandes problemas que, no limite, poderiam levar a uma paragem da produção. A acumulação destes resíduos sem

tratamento, com o passar do tempo começam a degradar-se, cheiram mal e atraem pragas indesejadas. Manter estes resíduos implica ter espaços de armazenamento e meios de tratamento, como por exemplo estufas para a secagem.

4.4.3 Investimentos e retorno económico

A exploração de práticas alternativas dos subprodutos pode ser uma forma de rendimento, principalmente para as cervejeiras que apresentam custos relacionados com o descarte de resíduos ou quando o subproduto é doado. No entanto, estas formas de rendimento devem ser avaliadas em relação ao seu custo-benefício e mediante cada realidade (Bolwig *et al.*, 2019).

Um negócio sustentável tem como pré-requisito ser economicamente sustentável. A estratégia aqui é eliminar o desperdício e transformar fluxos de resíduos em insumos para outros processos (Short *et al.*, 2014). No entanto estudos mostram que na indústria cervejeira existe pouca abertura para a mudança do modelo de negócio, ou seja, é convencional o uso dos resíduos para ração animal. Existem outras opções válidas, como já foi abordado no capítulo anterior, para a valorização dos subprodutos além da ração alimentar, contudo o maior obstáculo a ultrapassar é o grande distanciamento entre a pesquisa universitária e a indústria.

Para a Comissão Europeia, a transformação de resíduos em energia deve ser o último recurso em detrimento do aterro. O objetivo é manter os resíduos no ciclo de reutilização pelo maior tempo tecnicamente possível. Quanto à incineração de resíduos, acrescentam que é importante optar pela solução mais eficiente em termos de energia e de ambiente. A Comissão Europeia alerta para a necessidade de prestar uma atenção especial à conceção e capacidade das instalações de transformação de resíduos em energia e fornecer uma justificação rigorosa para qualquer apoio a nível da UE (European Commission, 2017).

Para todos os cervejeiros entrevistados, as soluções que apresentam neste momento, para a valorização dos seus resíduos é satisfatória e prática. Resolve o problema de acumulação de resíduos. Por outro lado, afirmam que não existem, ou não têm conhecimento de clientes para outras formas de rentabilização.

Contudo, um dos entrevistados afirma que neste momento têm vários projetos em cima da mesa. Um dos projetos é a utilização das suas biomassas na produção de energia para consumo próprio e o outro é a produção de energia através de painéis solares. Outro entrevistado neste momento, está a alterar uma das suas caldeiras de combustível (*fuel*) para uma caldeira de biomassa. Além disso em 2020, instalou painéis solares o que mostra a sua consciência com as causas ambientais. Adiantou que atualmente, 25% do seu consumo energético advém desta energia renovável.

O preço de venda da *dreche* e da levedura varia muito de empresa para empresa e é francamente irrisório. A quantidade de matéria seca, que depende em parte da aquisição do equipamento, também influencia no preço. Para termos uma ideia, uma grande cervejeira na Dinamarca recebeu 16 euros por tonelada de um intermediário, valor muito próximo de um produtor português, que recebeu 15 euros por tonelada. No entanto na Dinamarca, um produtor diz receber 8 euros por tonelada de um agricultor, enquanto outro produtor recebe 134 euros por tonelada de um agricultor local (Bolwig *et al.*, 2019). Já as pequenas cervejeiras não conseguem obter qualquer retorno financeiro por parte dos agricultores pelos seus subprodutos em ambos os países.

As microempresas, devido à baixa capacidade de produção de resíduos requerem um melhor planeamento antes de incorrer em investimentos, para além de manifestarem outras prioridades de investimentos (C3). Já as grandes empresas, identificaram alguns investimentos para esta prática. Para a C8 e C9, os equipamentos adquiridos, com a finalidade de aumentar a matéria seca dos resíduos, foram muito vantajosos e rentáveis. Para a empresa C9, o filtro de membranas adquirido foi um investimento que se amortizou em 6/7 anos. Afirma que não foi só pela redução do espaço de armazenamento da levedura, mas principalmente pela recuperação de quebras de cerveja (cerveja recuperada vs extrato recuperado vs investimento). Já a C8 investiu em novos silos para a *dreche*, num tanque, numa centrifugadora para a levedura, e numa de uma linha de vapor para a sua inativação. Todos afirmaram que estas soluções não foram abrangidas por apoios externos e não foi necessário adquirir mais mão de obra (C8 e C9).

4.4.4 Motivações e barreiras

Os entrevistados são unânimes em considerar que a solução de enviar os subprodutos para ração animal não é a melhor forma de a rentabilizar, mas é a que lhes resolve ou evita um grande problema de armazenamento e acumulação. No entanto a disponibilidade de investimento em equipamentos, o espaço de armazém, a capacidade de produção e a falta de alternativas são as barreiras mais apontadas pelas microempresas. É também notória a preocupação bem como o interesse por parte destes entrevistados nas questões ambientais. A título de exemplo, o produtor C5, diz que já fez alguns testes exploratórios no sentido de secar a *dreche*, mas eram necessários alguns investimentos, que inviabilizou o negócio. No entanto afirma que é uma preocupação e um problema que continua em discussão. Do ponto de vista deste microcervejeiro, para o processo ser sustentável, não se poderia utilizar combustíveis fósseis como *fuel* ou GPL no reaproveitamento dos subprodutos. Caso contrário estar-se-ia a produzir gases que iriam contribuir para o efeito estufa. Por outro lado, o C1 identificou como barreira a sua área de atividade. Este refere que poderia reutilizar os seus subprodutos, mas a sua CAE (Classificação das Atividades Económicas) não lhe permite outras formas de atividade.

Os fatores económicos e a falta de alternativas (clientes dispostos a pagar mais) foram os obstáculos mais mencionados pelos cervejeiros (C8 e C9). Os cervejeiros mencionaram também os fatores económicos em combinação com dificuldades de produção, insuficiência de equipamentos ou de espaço que permita o armazenamento por períodos mais longos. A cervejeira C9 informou que existe a intenção de queimar a *dreche* para a produção de energia, mas que precisaria investir em novos equipamentos, para conseguir fazê-lo em grande escala. A C8 não identificou barreiras, já que se considera satisfeita com a sua forma de rentabilizar.

Relativamente às oportunidades, os entrevistados reconhecem que estas poderão trazer vantagens perante o consumidor, tendo a C9 admitido que ser sustentável e amigo do ambiente é uma estratégia de *marketing* para a sua empresa.

Tendo em conta que nenhuma empresa admitiu ter apoios ou ter conhecimento de apoios, para colocar os seus subprodutos na economia circular, a maioria, (principalmente

as pequenas empresas) coloca a hipótese de refletir os custos do investimento no preço unitário da cerveja, à exceção da (C5) que admitiu não acreditar em projetos que não tenham rentabilidade económica, ou seja, o retorno económico teria de compensar o investimento sustentável, ao invés de fazer refletir aumentos no preço final. Nesta linha de raciocínio, um grande cervejeiro (C9) terminou a sua entrevista dizendo que o objetivo é ser sustentável, com investimentos viáveis, que se paguem por si só, sem ter que imputar custos ao consumidor final.

Capítulo V



5. Consumidores de cerveja e a percepção da sustentabilidade dos subprodutos

5.1 Estratégia metodológica

Este capítulo tem como objetivo perceber se os consumidores de cerveja valorizam uma cerveja ambientalmente sustentável e qual o seu comportamento no ato de compra. Em resumo, com esta pesquisa exploratória pretendeu-se:

- 1) Identificar em que circunstâncias se consome cerveja;
- 2) Apurar as quantidades de cervejas consumidas por semana;
- 3) Perceber quais os fatores que mais influenciam na decisão de compra de uma cerveja;
- 4) Entender se o consumidor está disposto a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável;
- 5) Aferir até quanto está disposto a pagar por uma cerveja sustentável.
- 6) Analisar a correlação da variável disponibilidade em pagar mais por uma cerveja sustentável com outras sugeridas.

Este capítulo teve como base a metodologia de pesquisa exploratória quantitativa e relacional, através dum inquérito por questionário (ver anexo II), desenvolvido a partir da plataforma online *Google Forms*. Este questionário foi disponibilizado por correio eletrónico e redes sociais, tais como *Facebook*, *WhatsApp* e correio eletrónico e foi de administração direta, onde o próprio inquirido registou as suas próprias respostas, conforme descrito por Almeida & Pinto (1973).

O universo da pesquisa foi constituído pelos consumidores de cerveja portugueses, cujo tamanho exato deste universo não foi possível ser definido. Dada a impossibilidade de abordagem de todos os membros do universo, utilizou-se uma amostragem por conveniência. Assim foram inquiridos consumidores de diversas fontes, como estudantes universitários, colaboradores de algumas empresas, amigos e amigos de amigos. Segundo

Sousa e Baptista (2014) este tipo de amostragem a colaboração é voluntaria e os participantes são escolhidos por uma questão de conveniência.

O Inquérito por questionário foi elaborado de forma a ser célere e conciso, com uma duração máxima 4 minutos para a sua elaboração. Foi composto maioritariamente por questões fechadas e decorreu no mês de março do corrente ano, com o objetivo de recolher 200 respostas. Com este questionário conseguiu-se obter 220 respostas, distribuídas desde Portugal Continental e Arquipélagos da Madeira e dos Açores. 42 respostas foram desconsideradas, por apresentarem idade inferior aos 18 anos, ou por não consumirem cerveja. Ficou-se com uma amostra de 178, os quais corresponderam aos critérios de inclusão.

Na primeira fase do Inquérito, questionou-se acerca dos dados Sociodemográficos de forma a recolher informações gerais sobre os consumidores de cerveja. Para tal, foram feitas questões como “Qual o seu género?”, “Qual a sua idade?” e “Qual a zona de residência?”. Na segunda fase, pretendeu-se recolher informações sobre os hábitos, preferências e circunstâncias de consumo, onde foram feitas questões como “Costuma consumir cerveja?”, “Em que circunstâncias costuma consumir?”, “Qual a cerveja que mais consome?”, “Onde habitualmente compra a cerveja?” e “Quantidades de cerveja que compra por semana?”. Por fim, na terceira parte do questionário tentou-se perceber quais os aspetos mais valorizados no ato da compra de uma cerveja. Questionou-se “Quais os aspetos que mais valoriza numa empresa produtora de cerveja?”, “Quais os fatores que mais influenciam na decisão de compra?”, “Está disposto a pagar mais por uma cerveja sustentável?” e “Quanto estaria disposto a pagar mais pela sustentabilidade?”. Esta parte do inquérito foi importante no sentido de se entender se os consumidores de cerveja estão dispostos a pagar mais e até quanto estariam dispostos a suportar tais encargos.

5.2. Análise Estatística

Com base nos resultados dos questionários aos consumidores de cerveja, foi efetuada uma análise no sentido de se entender o quanto os consumidores valorizam a sustentabilidade na cerveja e se estão dispostos a pagar mais pela sua sustentabilidade.

A análise estatística envolveu medidas de estatística descritiva (frequências absolutas e relativas) e estatística inferencial. A análise estatística foi efetuada com o SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 26.0 para Windows.

Iniciou-se com a estatística descritiva, seguida da estatística inferencial. Nesta, utilizou-se o teste do Qui-quadrado de independência. Segundo Sá *et al.*, (2021), este teste não paramétrico baseia-se em dados nominais e é apropriado para investigações onde a distribuição da população não é bem conhecida. O nível de significância para rejeitar a hipótese nula foi fixado em $(\alpha) \leq 0.05$. O pressuposto do Qui-quadrado de que não deve haver mais do que 20% das células com frequências esperadas inferiores a 5 foi analisado. Nas situações em que este pressuposto não se verificou, utilizou-se o teste do Qui-quadrado por simulação de Monte Carlo. As diferenças foram analisadas com o apoio dos resíduos ajustados padronizados.

5.3 Caracterização da amostra

Colaboraram neste estudo um total de 178 indivíduos, todos consumidores habituais de cerveja. O universo de inquiridos teve uma paridade de género, com uma ligeira preponderância do género feminino (53.4%), do escalão etário dos 41–50 anos (32.6%) e residentes no Arquipélago da Madeira (56.2%).

Tabela 5.1: Caracterização sociodemográfica (N = 178).

	N	%
Género		
Feminino	95	53,4
Masculino	83	46,6
Idade		
18-30	45	25,3
31-40	41	23,0
41-50	58	32,6
> 50	34	19,1
Residência		
Arquipélago da Madeira	100	56,2
Arquipélago dos Açores	5	2,8
Região centro de Portugal	40	22,5
Região norte de Portugal	20	11,2
Região sul de Portugal	13	7,3

5.4 Resultados e Discussão

Nesta análise, procurou-se abordar questões sobre onde os inquiridos consomem cerveja, em que circunstâncias, quais os aspetos que mais valorizam no ato da compra da cerveja, assim como a sua disponibilidade em pagar por esses aspetos.

Para Carley & Yahng (2018) a demografia, nomeadamente a zona de residência, é um importante atributo para o comportamento de consumo sustentável, pois poderá afetar o estilo de vida e as decisões do dia-a-dia. Contudo, neste estudo não se verificaram diferenças significativas em relação aos atributos demográficos.

De forma a perceber em que circunstâncias o inquirido consome cerveja, foi colocada esta questão e como podemos verificar na tabela 5.2, o consumo de cerveja era mais elevado em momentos de convívio (82,0%), em ambientes familiares (39,3%), e às refeições com 15,2%.

Tabela 5.2: Em que circunstâncias costuma consumir cerveja?

	N	%
Em convívios	146	82,0%
Em ambiente familiar	70	39,3%
Às refeições	27	15,2%
Todas as hipóteses anteriores	26	14,6%

Ao perguntar aos entrevistados sobre o local onde costumam comprar cerveja, permitimos que eles se identifiquem como compradores de cerveja e continuam a responder o questionário. Caso respondessem que não compravam, deu-se o questionário por terminado.

Pelas respostas obtidas foi possível apurar que os supermercados (78,1%) e Bares/ Restauração (59,6%) eram os locais mais referidos pelos consumidores, relativamente ao local onde costumam comprar cerveja.

Tabela 5.3: Onde costuma comprar?

	N	%
Supermercados	139	78,1%
Bar/ Restauração	106	59,6%
Mercado tradicional	20	11,2%
Não compra	2	1,1%

Considerando a dimensão deste mercado, os entrevistados foram questionados em relação à frequência de compra de cerveja (Tabela 5.4). Uma proporção elevada (77,5%) refere que tem por hábito comprar menos que um pack (6 cervejas) por semana e 13,5% comprava um pack por semana. Apenas 5,0% refere comprar pelo menos uma caixa (24 cervejas) por semana. Num estudo feito por Costa & Cavalcante (2008), na cidade de Fortaleza, 52,3% dos inquiridos admitiram beber cerveja somente ocasionalmente, valor não muito distante dos 77,5% que admitiram comprar menos de um pack por semana.

Tabela 5.4: Frequência de compra.

	N	%
Menos que um pack (6 cervejas) por semana	138	77,5
Um pack por semana	24	13,5
Dois packs por semana	7	3,9
Uma caixa (24 cervejas) por semana	7	3,9
Mais que uma caixa por semana	2	1,1
Total	178	100

As Lager (65,7%) foram o tipo de cerveja escolhida pelos inquiridos, seguida das Stout (19,1%), em detrimento das cervejas sem álcool e artesanais, com 3,4 e 10,7% respetivamente. No estudo efetuado nos Estados Unidos em 2020, verificaram que os resultados também retratam uma heterogeneidade dentro do mercado cervejeiro, onde 41,1% dos inquiridos afirmou consumir a cerveja dita comercial e 17,8% admitiu consumir apenas cervejas artesanais (Staples *et al.*, 2020).

Tabela 5.5: Qual estilo de cerveja que consome com mais frequência?

	N	%
Artesanal	19	10,7
Lager	117	65,7
Sem Álcool	6	3,4
Stout	34	19,1
Outras	2	1,2
Total	178	100

Relativamente aos aspetos mais valorizados numa cervejeira (Fig. 5.1), verificou-se que os consumidores valorizam o produto (77,0%), seguido da sustentabilidade (34,8%) e a marca (29,8), sendo a certificação ambiental e o *marketing* entendidos como os aspetos menos valorizados.

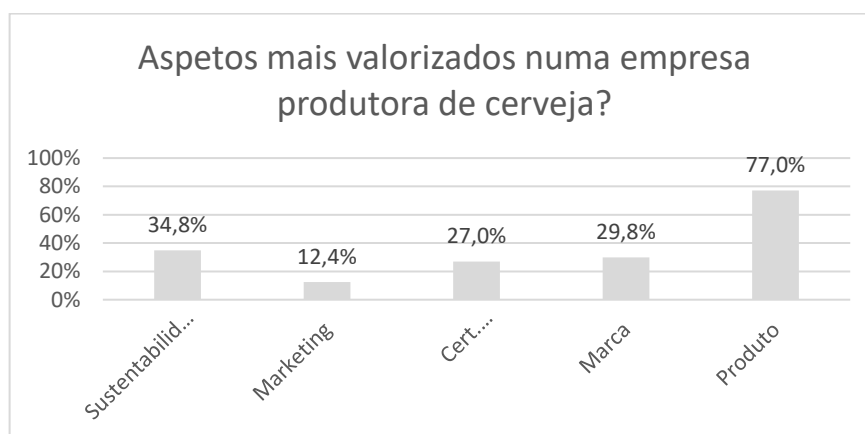


Figura 5.1: Aspetos mais valorizados numa empresa produtora de cerveja. Número de amostras por ordem decrescente (N): Produto, N = 137; Sustentabilidade, N = 62; Marca, N = 53; Certificação ambiental, N = 48; Marketing, N = 22.

Foi possível também apurar os fatores que mais influenciam os consumidores no ato de compra (Tabela 5.6). Destaca-se a qualidade do produto (88,8%) e as características sensoriais (41,6%). Estes resultados sugerem que a sustentabilidade numa cerveja (20,2%) é percebida como menos importante em comparação com os atributos anteriores, mas quando comparada com a imagem de marca, com a certificação ambiental ou com o rótulo, revela ter maior preponderância. A certificação ambiental (14,6%), a imagem de marca (11,8%) e o rótulo (6,7%) são entendidos como menos importantes na tomada de decisão aquando da compra. À semelhança deste estudo, nos Estados Unidos, foi efetuado um

inquérito com vista à sustentabilidade de rótulos de cerveja ecológicos, onde Staples *et al.* (2020) concluíram que existe uma procura considerável por parte do consumidor por cerveja sustentável. Esta constatação também é consistente com um estudo sobre a percepção do consumidor em relação as práticas sustentáveis na reutilização da água da indústria cervejeira, onde Lee *et al.* (2020) verificaram que apesar dos consumidores não saberem quais as práticas de reutilização ou conservação da água, apreciam a intenção ou o esforço inerente dessas práticas sustentáveis. Assiste-se assim a uma mudança de paradigma no comportamento dos consumidores. Estes apresentam-se cada vez mais preocupados com hábitos de vida saudáveis, quer no que diz respeito à sua própria saúde, quer no que se refere à saúde do planeta. Este paradigma leva ao aumento da procura de produtos sustentáveis, éticos, ecológicos e com responsabilidade social corporativa.

Tabela 5.6: Quais os fatores que mais influenciam na decisão de comprar?

	N	%
Características sensoriais	74	41,6%
Qualidade da cerveja	158	88,8%
Imagem de marca	21	11,8%
Certificação ambiental	26	14,6%
Sustentabilidade do produto	36	20,2%
Rótulo	12	6,7%

Perante a questão em que se inquire os consumidores sobre a disponibilidade de pagar mais por uma cerveja sustentável (Tabela 5.7), os resultados confirmam esta hipótese. Apesar da sustentabilidade da cerveja não ser o atributo com maior peso na decisão de compra, verificou-se que a proporção de consumidores dispostos a pagar mais por uma cerveja sustentável, cifrava-se em 40,4%, com espaço para crescimento, pois 42,7% das respostas eram de consumidores indecisos e apenas 16,9% admitem não pagar mais por uma cerveja sustentável. Segundo o estudo de Staples *et al.* (2020), 75% dos consumidores de cerveja estão dispostos a pagar prémios por cerveja produzida, usando práticas ambientalmente sustentáveis. Segundo o Carley & Yahng, (2018), os consumidores que estão dispostos a assumir os custos da sustentabilidade tendem a ser mais conscientes e responsáveis no ato de compra, com comportamentos e estilos de vida comprometidos

com o meio ambiente. Em geral, verifica-se que os consumidores estão dispostos a pagar por este atributo, independentemente de suas características sociodemográficas, idade, sexo, zona de residência ou preferências de estilo de cerveja.

Tabela 5.7: Está disposto a pagar mais por uma cerveja sustentável?

	N	%
Não	30	16,9
Sim	72	40,4
Talvez	76	42,7
Total	178	100

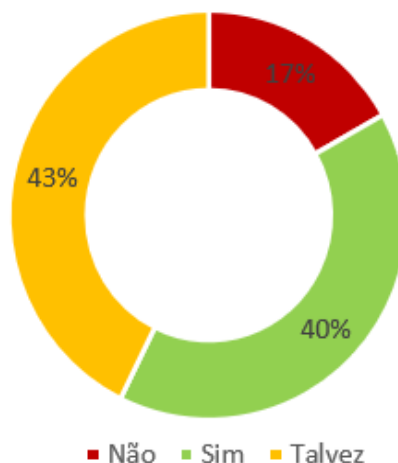


Figura 5.2: Disposição por parte do consumidor em pagar mais por uma cerveja sustentável.

Do total de consumidores dispostos a pagar mais por uma cerveja sustentável, 46,6% indica que poderia pagar mais 5% e 15,5% estaria disposto a pagar até mais 10%.

Tabela 5.8: Quanto estaria disposto a pagar a mais?

	N	%
Até 1%	51	34,5
Até 5%	69	46,6
Até 10%	23	15,5
Até 15%	5	3,4
Total	148	100

5.4.1 Relação entre variáveis

Para uma melhor percepção das respostas obtidas pelo inquérito, optou-se por relacionar variáveis de forma a perceber se existe relação entre elas. Relativamente à relação entre a variável “Está disposto a pagar mais por uma cerveja sustentável” e a variável “Género” verificou-se que a proporção de consumidores dispostos a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável é relativamente semelhante em homens (42,2%) e mulheres (38,9%), $\chi^2 = 3,832$, $p = 0,147$.

Tabela 5.9: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Género.

Disposto pagar mais		Género		Total
		Feminino	Masculino	
Não	Frequência	12	18	30
	% género	12,6%	21,7%	16,9%
Sim	Frequência	37	35	72
	% género	38,9%	42,2%	40,4%
Talvez	Frequência	46	30	76
	% género	48,4%	36,1%	42,7%
Total	Frequência	95	83	178
	% género	100%	100%	100%

Quando comparado com a variável “Faixa etária”, a proporção de consumidores dispostos a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável também é relativamente semelhante nos diversos escalões etários, não se verificando qualquer relação, $\chi^2 = 7,592$, $p = 0,270$.

Tabela 5.10: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Idade.

Idade		Disposto paga mais			Total
		Não	Sim	Talvez	
18-30	Frequência	7	14	24	45
	% idade	15,6%	31,1%	53,3%	100%
31-40	Frequência	8	22	11	41
	% idade	19,5%	53,7%	26,8%	100%
41-50	Frequência	9	21	28	58
	% idade	15,5%	36,2%	48,3%	100%
> 50	Frequência	6	15	13	34
	% idade	17,6%	44,1%	38,2%	100%
Total	Frequência	30	72	76	178
	% idade	16,9%	40,4%	42,7%	100%

Relativamente ao cruzamento das variáveis “disposição a pagar mais por uma cerveja” e a “valorização da sustentabilidade numa cervejeira” verifica-se uma proporção significativamente mais elevada, ou seja, 53,2% dos consumidores que valorizam as boas práticas de produção estão dispostos a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável, $\chi^2 = 8,554$, $p = 0,014$.

Tabela 5.11: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Sustentabilidade numa empresa produtora de cerveja.

<i>Disposto pagar mais</i>		Aspetos da Sustentabilidade		
		Não	Sim	Total
Não	Frequência	25	5	30
	% Aspetos Sustentabilidade	21,6%	8,1%	16,9%
Sim	Frequência	39	33	72
	% Aspetos Sustentabilidade	33,6%	53,2%	40,4%
Talvez	Frequência	52	24	76
	% Aspetos Sustentabilidade	44,8%	38,7%	42,7%
Total	Frequência	116	62	178
	% Aspetos Sustentabilidade	100%	100%	100%

Há uma proporção significativamente mais elevada de consumidores dispostos a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável nos que valorizam a sustentabilidade

no ato da compra (52,8% vs 5,6% vs 41,7%), embora a diferença não seja estatisticamente significativa, $\chi^2 = 5,125$, $p = 0,077$.

Tabela 5.12: Correlação entre Disposição de Pagar mais e a Valorização da sustentabilidade no ato da compra.

		Valorização da Sustentabilidade na decisão de compra		
		Não	Sim	Total
<i>Disposto pagar mais</i>				
Não	Frequência	28	2	30
	% Valorização Sustentabilidade	19,7%	5,6%	16,9%
Sim	Frequência	53	19	72
	% Valorização Sustentabilidade	37,3%	52,8%	40,4%
Talvez	Frequência	61	15	76
	% Valorização Sustentabilidade	43,0%	41,7%	42,7%
Total	Frequência	142	36	178
	% Valorização Sustentabilidade	100%	100%	100%

Por último, para a “disposição a pagar mais por uma cerveja sustentável” e “valorização da certificação ambiental”, verificou-se uma proporção mais elevada de consumidores dispostos a pagar mais por uma cerveja sustentável nos que valorizam os aspetos da certificação (45,8% vs 38,5%), embora a diferença não seja estatisticamente significativa, $\chi^2 = 3,454$, $p = 0,178$.

Tabela 5.13: Correlação entre Disposição de Pagar mais e Certificação Ambiental.

		Aspetos da certificação		
		Não	Sim	Total
<i>Disposto pagar mais</i>				
Não	Frequência	26	4	30
	% Aspetos certificação	20,0%	8,3%	16,9%
Sim	Frequência	50	22	72
	% Aspetos certificação	38,5%	45,8%	40,4%
Talvez	Frequência	54	22	76
	% Aspetos certificação	41,5%	45,8%	42,7%
Total	Frequência	130	48	178
	% Aspetos certificação	100%	100%	100%

Resumindo, embora apenas o cruzamento das variáveis “disposição a pagar mais por uma cerveja” e a “valorização da sustentabilidade numa cervejeira” se tenha revelado estatisticamente significativa, pode-se concluir que esta amostra revelou ser composta por consumidores com alguma percepção da sustentabilidade, ainda que se trate de um conceito relativamente novo. Apesar de não ser estatisticamente significativa verificou-se que há uma proporção mais elevada de consumidores dispostos a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável nos que valorizam a sustentabilidade no ato da compra. De notar também que não foi possível verificar uma relação entre os atributos sociodemográficos e a disponibilidade em pagar mais por uma cerveja sustentável.

Para além destes resultados, conseguiu-se apurar que o local onde os consumidores costumam comprar a sua cerveja é nos supermercados, bares e restauração. Costumam consumir em convívios e ambientes familiares. Apesar de ser um painel com poucos hábitos de consumo, a maioria compra menos de seis cervejas por semana, preferem a cerveja lager, tendo as artesanais pouca expressão.

Relativamente aos aspetos mais valorizados numa empresa produtora de cerveja verificou-se que o produto em si é o mais valorizado, seguido das práticas de sustentabilidade. Já em relação aos fatores que mais influenciam na decisão de comprar, foi possível apurar que a qualidade do produto e as características sensoriais comandam as decisões. Apenas 16,9% dos consumidores afirmaram não estarem dispostos a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável. Por fim, é importante salientar que dos consumidores dispostos a assumir os custos (n = 148), 81% estão dispostos a assumir os custos até 5% sobre o preço unitário de uma cerveja sustentável.

6. Conclusões

A situação atual carece de estratégias a nível global para alcançar um crescimento sustentável. A promoção do uso eficiente dos recursos, favorecendo uma transição para uma economia circular, torna-se perentória.

A sustentabilidade no fabrico de cerveja revela-se como um atributo de credibilidade. Esse tipo de atributo não é diretamente observável pelos consumidores antes da compra, nem após a compra.

A pesquisa efetuada e apresentada neste trabalho resumiu a aplicabilidade dos subprodutos da produção de cerveja. Foi discutida a sua proveniência durante o processo de fabricação de cerveja, assim como os fatores que afetam as quantidades e a qualidade destes subprodutos. Os dados descritos sobre a composição da *dreche*, *trub* e levedura produzidos pelos cervejeiros indicam que têm um leque de possibilidades para a sua valorização, nomeadamente a sua aplicação para alimentação tanto humana como animal, e a aplicação na tecnologia de polímeros deve ser considerada um método auspicioso e viável do ponto de vista ecológico e económico. Não obstante, a produção de energia também deverá carecer de muita atenção pelas suas potencialidades e pela emergente necessidade de substitutos dos combustíveis fósseis. A escolha de um método deverá estar de acordo com as necessidades do produtor e com as suas limitações, visto que qualquer método requer investimento. O problema que os produtores têm para o escoamento destes resíduos, despertam-nos para as mais diversas soluções mencionadas.

Com este estudo também se conseguiu perceber que os consumidores de cerveja inquiridos preocupam-se com as questões da sustentabilidade do produto e que estão dispostos a assumir os custos que daí advém, até mais 5% sobre o preço unitário. As cervejeiras e outras indústrias (não só do ramo alimentar) deverão adotar práticas conscientes baseadas na economia circular, não apenas por razões ambientais, éticas ou morais, mas também por representarem oportunidades de negócio, como se demonstrou com as entrevistas, principalmente aos grandes produtores. Infelizmente, no caso dos produtores artesanais, é necessário maior pesquisa/informação nesta área e maior

ponderação nos investimentos, dadas as suas limitações, principalmente no que diz respeito às quantidades produzidas e às tecnologias disponíveis.

Apesar da aparente valorização da sustentabilidade por parte dos consumidores, numa indústria produtora de cerveja, o investimento em eficiência energética ou tecnologias de baixo carbono, ou outras formas de rentabilização, pressupõe elevados encargos financeiros, principalmente numa fase inicial. Estes investimentos também se refletem no preço final, por unidade de cerveja. A maioria das cervejeiras entrevistadas assumiram não conseguir suportar tais encargos, mesmo tendo noção que estas boas práticas são fortes ferramentas de *marketing* e tornam as empresas mais sustentáveis e eventualmente mais competitivas. Por um lado, os produtores não conseguem suportar os custos da sustentabilidade, por outro, verifica-se que 40,4% de consumidores estão dispostos a pagar mais. No entanto 42,7% das respostas eram de consumidores indecisos, o que significa que apesar de estarmos no bom caminho, estas questões da sustentabilidade ainda têm um longo caminho a percorrer, principalmente no que respeita à mudança de mentalidades tanto na indústria como no público em geral.

O desenvolvimento deste trabalho deparou-se com algumas limitações, as quais se destacam as seguintes:

- A amostragem do questionário por conveniência. Dada as circunstâncias da situação pandémica que atravessamos, não foi possível utilizar outro tipo de amostra. Seria relevante a utilização de um método de amostragem mais abrangente, que melhor refletisse o Universo da pesquisa;
- O leque de produtores de cerveja entrevistados foi reduzido a 9 entrevistados, pelas mesmas razões apontadas anteriormente; o acesso aos produtores teve constrangimentos; alguns dos produtores nem respondiam às chamadas telefónicas, outros tinham terminado a sua atividade temporariamente ou definitivamente. Foram contactadas ao todo 20 cervejeiras, das quais apenas se conseguiu efetivamente falar com 10 representantes, das quais uma foi desconsiderada por não se encontrar no ativo.

Contudo, a pesquisa realizada nesta dissertação foi coerente, crítica e apresenta dados relevantes. Juntamente com os resultados de outros estudos, poderá trazer contribuições significativas para novas pesquisas sobre o tema aqui abordado.

Futuros trabalhos poderão completar este estudo analisando/comparando os dados aqui recolhidos com outros subprodutos de outras indústrias, nomeadamente a produção de vinho, *whiskey*, *brandies*, aguardente envelhecida, cachaça entre outros, visto estas bebidas também produzirem elevadas quantidades de resíduos.

7. Bibliografia

- Abbas, C. A. (2006). Production of Antioxidants, Aromas, Colours, Flavours, and Vitamins by Yeasts. *Yeasts in Food and Beverages*, 285–334. https://doi.org/10.1007/978-3-540-28398-0_10
- Adeniran, H. A., Abiose, S. H., & Ogunsua, A. O. (2010). Production of fungal β -amylase and amyloglucosidase on some nigerian agricultural residues. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 693–698. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0141-3>
- Adeolu, A. S. (2015). *Assessment_of_Industrial_Effluent_Genera.*
- Ainsworth, P., Ibanoglu, S., Plunkett, A., Ibanoglu, E., & Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702–709. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
- Albini, G., Freire, F. B., & Freire, J. T. (2018). Estudo da secagem de cevada. *Tópicos Em Secagem De Produtos Naturais, January.*
- Aliyu, S., & Bala, M. (2011). Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, 10(3), 324–331. <https://doi.org/10.5897/AJBx10.006>
- Almeida, J. F. De, & Pinto, J. M. (1973). Teoria e investigação empírica nas ciências sociais. In *Análise Social* (Vol. 9, pp. 365–445).
- Amoriello, T., & Ciccoritti, R. (2021). Sustainability: Recovery and Reuse of Brewing-Derived By-Products. *Sustainability*, 13(4), 2355. <https://doi.org/10.3390/su13042355>
- Andrews, J. M. H., & Burton, B. of. (2004). *Brewing: Science and practice* (C. W. Bamforth (ed.); C. W. Bamf). Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6AH, England.
- Antunes, R., & Silva, I. C. (2011). O Papel dos Microorganismos no Futuro dos Biocombustíveis. *Instituto Nacional de Propriedade Industrial*, 1–37.
- APCV. (2021). *Cervejeiros em Portugal Guia 2020-2021*. <https://www.cervejeirosdeportugal.pt/>
- Aquarone, E., Borzani, W., Schmidell Netto, W., & Lima, U. de A. (2001). *Biotecnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos*.
- Araujo, A. S. (2005). *Análise e tipificação de diferentes amostras de cervejas através de espectrometria de massas por ionização electrospray*. 76.

- Arbex, M. A., Cançado, J. E. D., Pereira, L. A. A., Braga, A. L. F., & Saldiva, P. H. do N. (2004). Biomass burning and health effects. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 30(2), 158–175. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132004000200015
- Athanasios, M., Georgios, L., & Michael, K. (2007). A rapid microwave-assisted derivatization process for the determination of phenolic acids in brewer's spent grains. *Food Chemistry*, 102(3), 606–611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.040>
- Bamforth, Charles W. (2000). *Beer: An Ancient Yet Modern Biotechnology*. 4171(00), 102–112. <https://doi.org/10.1007/s00897000378a>
- Ben-Hamed, U., Seddighi, H., & Thomas, K. (2011). Economic returns of using Brewery's spent grain in animal feed. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 50(2), 695–698.
- Bianco, A., Budroni, M., Zara, S., Mannazzu, I., Fancello, F., & Zara, G. (2020). The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(20), 8661–8678. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10843-1>
- Boateng, M., Okai, D. B., Frimpong, Y. O., & Yarsmin Zeebone. (2015). *Wet brewers' spent grains and wet brewers' spent yeast: Problems associated with their usage and suggested solutions: A case study of the Ejisu-Juaben Municipality of Ghana | Request PDF*. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 27, Article 5. https://www.researchgate.net/publication/282711860_Wet_brewers'_spent_grains_and_wet_brewers'_spent_yeast_Problems_associated_with_their_usage_and_suggested_solutions_A_case_study_of_the_Ejisu-Juaben_Municipality_of_Ghana
- Boden, M. (2012). *Achieving Sustainability In The Craft Brewing Industry*. <https://digitalcommons.unl.edu/envstudtheses>
- Bolwig, S., Mark, M. S., Happel, K., & Brekke, A. (2019a). *Beyond animal feed? The valorisation of brewers' spent grain*.
- Bolwig, S., Mark, M. S., Happel, M. K., & Brekke, A. (2019b). Beyond animal feed?: The valorisation of brewers' spent grain. In *From Waste to Value: Valorisation Pathways for Organic Waste Streams in Circular Bioeconomies* (Issue April). <https://doi.org/10.4324/9780429460289-6>
- Boulton, C., & Quain, D. (2001). *Brewing Yeast and Fermentation*. In *Blackwell Science*. <https://doi.org/10.1002/9780470999417.ch5>

- Brust, L. A. C., Aragão, A. P., Bezerra, P. S., Galvão, A., França, T. N., Graça, F. A. S., & Peixoto, P. V. (2015). Enfermidades em bovinos associadas ao consumo de resíduos de cervejaria. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, *35*(12), 956–964. <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2015001200004>
- Buffington, J. (2014). The Economic Potential of Brewer's Spent Grain (BSG) as a Biomass Feedstock. *Advances in Chemical Engineering and Science*, *04*(03), 308–318. <https://doi.org/10.4236/aces.2014.43034>
- Bzducha-Wróbel, A., Błazejak, S., Kawarska, A., Stasiak-Rózańska, L., Gientka, I., & Majewska, E. (2014). Evaluation of the efficiency of different disruption methods on yeast cell wall preparation for β -glucan isolation. *Molecules*, *19*(12), 20941–20961. <https://doi.org/10.3390/molecules191220941>
- C. Brandam, XM Meyer, J. Proth, P. Strehaiano, H. P. (2002). A New Reaction Scheme for the Starch Hydrolysis and Temperature Policy Influence during Mashing. *Food Science and Biotechnology* *11.1*, 40–47.
- Cadenas, R., Caballero, I., Nimubona, D., & Blanco, C. A. (2021). Brewing with starchy adjuncts: Its influence on the sensory and nutritional properties of beer. *Foods*, *10*(8). <https://doi.org/10.3390/foods10081726>
- Carley, S., & Yahng, L. (2018). Willingness-To-pay for sustainable beer. *PLoS ONE*, *13*(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204917>
- Celaya, A. M., Lade, A. T., & Goldfarb, J. L. (2015). Co-combustion of brewer's spent grains and Illinois No. 6 coal: Impact of blend ratio on pyrolysis and oxidation behavior. *Fuel Processing Technology*, *129*(6), 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.08.004>
- Celus, I., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2006). The effects of malting and mashing on barley protein extractability. *Journal of Cereal Science*, *44*(2), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.003>
- Chae, H. J., Joo, H., & In, M. J. (2001). Utilization of brewer's yeast cells for the production of food-grade yeast extract. Part 1: Effects of different enzymatic treatments on solid and protein recovery and flavor characteristics. *Bioresource Technology*, *76*(3), 253–258. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00102-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00102-4)
- Chetrariu, A., & Dabija, A. (2020). Brewer's Spent Grains : Possibilities of Valorization , a Review. *Applied Sciences, Figure 1*, 1–17. <https://doi.org/doi.org/10.3390/app10165619>

- Chimini, A. C., Abilio, D. P., Siqueira, O. A. P. A., Andrade, M. C. N. de, & Martins, O. G. (2020). Resíduos da Indústria da Cervejeira na Produção de novos Substratos para o Cultivo do Cogumelo *Ganoderma lucidum*. *ENERGIA NA AGRICULTURA*, 35(2), 265–275. <https://doi.org/10.17224/energagric.2020v35n2p265-275>
- Costa, F. J. da, & Cavalcante, A. A. (2008). Comportamento Do Consumidor De Cerveja: Proposta De Uma Tipologia Baseada Na Imagem E Nas Intenções Em Relação À Marca. *Revista de Negócios*, 12(4), 71. <https://doi.org/10.7867/1980-4431.2007v12n4p71-85>
- Creto, A. R. S. (2018). *O potencial nacional para a produção de biocombustíveis a partir de resíduos agroindustriais Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente Dissertação orientada por: Doutora Cristina Oliveira (FCUL/LNEG) Investigador Luís Duarte (LNEG)*.
- D. Junior, A. A., Vieira, A. G., & Ferreira, T. P. (2009). Processo de Produção de Cerveja. *Revista Processos Químicos*, 3(6), 61–71. <https://doi.org/10.19142/rpq.v03i06.p61-71.2009>
- D'Avila, R., Luvielmo, M., Mendonça, C. R., & Jantzen, M. (2012). Adjuntos utilizados para produção de cerveja: características e aplicações. *Estudos Tecnológicos Em Engenharia*, 8(2), 60–68. <https://doi.org/10.4013/ete.2012.82.03>
- Daioglou, V., Wicke, B., Faaij, A. P. C., & van Vuuren, D. P. (2015). Competing uses of biomass for energy and chemicals: Implications for long-term global CO2 mitigation potential. *GCB Bioenergy*, 7(6), 1321–1334. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12228>
- Decreto-Lei nº 306/2007. (2007). Decreto-Lei n.º 306/2007 do Ministério Do Ambiente , Do Ordenamento Do Território E Do Desenvolvimento Regional de 27 de Agosto sobre a regulação da qualidade da água utilizada para consumo humano. *Diário Da República: I Série*, 164, 5747–5765.
- Donoghue, C., Jackson, G., Koop, J. H., & Heuven, A. J. M. (2012). *The Environmental Performance of the European Brewing Sector*. http://www.brewersofeurope.org/uploads/mycms-files/documents/archives/publications/2012/envi_report_2012_web.pdf
- dos Santos Mathias, T. R., Alexandre, V. M. F., Cammarota, M. C., de Mello, P. P. M., & Sérvulo, E. F. C. (2015). Characterization and determination of brewer's solid wastes composition. *Journal of the Institute of Brewing*, 121(3), 400–404. <https://doi.org/10.1002/jib.229>
- Dragone, G., Mussatto, S. I., & De Almeida E Silva, J. B. (2007). Use of concentrated worts for high gravity brewing by continuous process: New tendencies for the productivity increase. *Ciencia*

- e Tecnologia de Alimentos*, 27(SUPPL.1), 37–40. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612007000500007>
- DRE. (n.d.). *Regime geral da gestão de resíduos*. Retrieved December 30, 2020, from <https://dre.pt/web/guest/legislacao-consolidada/-/lc/114291596/201712110000/73497167/diploma/indice>
- DRE. (1996). *Portaria 1/96, 1996-01-03 - DRE*. <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/621333/details/maximized>
- EFSA. (2014). Scientific Opinion on the risks to human and animal health related to the presence of beauvericin and enniatins in food and feed. *EFSA Journal*, 12(8). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3802>
- EFSA. (2017). Risks to human and animal health related to the presence of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms in food and feed. *EFSA Journal*, 15(9). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4718>
- Eßlinger, H. M., & Narziß, L. (2012). *Beer*. <https://doi.org/10.1002/14356007.a03>
- European Commission. (2017). *The role of waste-to-energy in the circular economy* (Issue COM(2017) 34).
- European Environment Agency (EEA). (2016). Circular economy in Europe - developing the knowledge base. In *Publication Office of the European Union* (Issue 2). https://ec.europa.eu/environment/ecoap/policies-and-practices-eco-innovation-uptake-and-circular-economy-transition_en
- EUROPEIA, C. (2020). Um novo Plano de Ação para a Economia Circular Para uma Europa mais limpa e competitiva. *EUR-Lex*.
- Eurostat. (2020). *Feliz Dia Internacional da Cerveja! - Produtos Notícias do Eurostat*. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/edn-20200807-1>
- Faccenda, A., Zambom, M. A., Castagnara, D. D., de Avila, A. S., Fernandes, T., Eckstein, E. I., Anschau, F. A., & Schneider, C. R. (2017). Use of dried brewers' grains instead of soybean meal to feed lactating cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(1), 39–46. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000100007>
- FAO. (2011). Food loss and food waste: Causes and solutions. In *Food Loss and Food Waste: Causes*

and Solutions. <https://doi.org/10.4337/9781788975391>

- Farias, D., Margarites, A. C., Reinehr, C. O., Colla, L. M., Costa, J. A. V., & Bertolin, T. E. (2009). Potencial amilolítico do grão de milho maltado no processo de sacarificação do mesmo cereal. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(3), 855–862. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542009000300027>
- Faulds, C. B., Collins, S., Robertson, J. A., Treimo, J., Eijsink, V. G. H., Hinz, S. W. A., Schols, H. A., Buchert, J., & Waldron, K. W. (2009). Protease-induced solubilisation of carbohydrates from brewers' spent grain. *Journal of Cereal Science*, 50(3), 332–336. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.004>
- Ferraz, E., Coroado, J., Gamelas, J., Silva, J., Rocha, F., & Velosa, A. (2013). Spent Brewery Grains for Improvement of Thermal Insulation of Ceramic Bricks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(11), 1638–1646. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000729](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000729)
- Ferreira, I. M. P. L. V. O., Pinho, O., Vieira, E., & Tavarela, J. G. (2010). Brewer's Saccharomyces yeast biomass: characteristics and potential applications. *Trends in Food Science and Technology*, 21(2), 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.008>
- Fox, G. P., & Henry, R. J. (1993). A Rapid Small Scale Method for the Determination of Malt Extract. *Journal of the Institute of Brewing*, 99(1), 73–75. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1993.tb01150.x>
- Ganeva, V., Angelova, B., Galutzov, B., Goltsev, V., & Zhiponova, M. (2020). Extraction of Proteins and Other Intracellular Bioactive Compounds From Baker's Yeasts by Pulsed Electric Field Treatment. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.552335>
- Gencheva, P., Dimitrov, D., Dobrev, G., & Ivanova, V. (2012). Hydrolysates from malt spent grain with potential application in the bioethanol production. *J. BioSci. Biotech, January*, 135–141.
- Ghiglione, R., & Matalon, B. (1992). *O Inquérito Teoria e Prática* (C. Editora (ed.)).
- Gómez, P. G. (n.d.). *LIFE YEAST - Recycling brewer's spent YEAST in innovative industrial applications*.
- Gous, P. W., & Fox, G. P. (2017). Review: Amylopectin synthesis and hydrolysis – Understanding isoamylase and limit dextrinase and their impact on starch structure on barley (*Hordeum vulgare*) quality. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 23–32.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.013>

- Gregori, A., Švagelj, M., Pahor, B., Berovič, M., & Pohleven, F. (2008). The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production. *New Biotechnology*, 25(2–3), 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2008.08.003>
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., & Gallagher, E. (2010). Barley for brewing: Characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 318–328. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x>
- Gupta, S., Jaiswal, A. K., & Abu-Ghannam, N. (2013). Optimization of fermentation conditions for the utilization of brewing waste to develop a nutraceutical rich liquid product. *Industrial Crops and Products*, 44(January), 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.015>
- Hardwick, W. (1994). *History and antecedents of brewing*.
- Harris, G. (1962). The Structural Chemistry of Barley and Malt. In *Barley and Malt*. ACADEMIC PRESS INC. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4832-2769-6.50014-0>
- Hashemi, M., Razavi, S. H., Shojaosadati, S. A., & Mousavi, S. M. (2011). The potential of brewer's spent grain to improve the production of α -amylase by *Bacillus* sp. KR-8104 in submerged fermentation system. *New Biotechnology*, 28(2), 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2010.10.009>
- Hejna, A. (2021). More than just a beer—the potential applications of by-products from beer manufacturing in polymer technology. *Emergent Materials*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00304-4>
- Hejna, A., Marć, M., Kowalkowska-Zedler, D., Pladzyk, A., & Barczewski, M. (2021). Insights into the thermo-mechanical treatment of brewers' spent grain as a potential filler for polymer composites. *Polymers*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/polym13060879>
- Hornsey, I. S. (2003). *A HISTORY OF BEER AND BREWING*.
- Ikram, S., Huang, L., Zhang, H., & Wang, J. (2017). Composition and Nutrient Value Proposition of Brewers Spent Grain. *Journal of Food Science*, Vol. 82, N. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794>
- INE. (2018). *Estatística Agrícola (2019)*. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>

- Iorizzo, M., Coppola, F., Letizia, F., Testa, B., & Sorrentino, E. (2021). Role of yeasts in the brewing process: Tradition and innovation. *Processes*, 9(5), 1–16. <https://doi.org/10.3390/pr9050839>
- Iorizzo, M., Letizia, F., Albanese, G., Coppola, F., Gambuti, A., Testa, B., Aversano, R., Forino, M., & Coppola, R. (2021). Potential for lager beer production from *saccharomyces cerevisiae* strains isolated from the vineyard environment. *Processes*, 9(9), 1–14. <https://doi.org/10.3390/pr9091628>
- Jackowski, M., Niedzwiecki, L., Jagiełło, K., Uchańska, O., & Trusek, A. (2020). Brewer's Spent Grains — Valuable Beer Industry By-Product. *Biomolecules*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/biom10121669>
- Johnson, P., Paliwal, J., & Cenkowski, S. (2010). Issues with utilisation of brewers' spent grain. *Stewart Postharvest Review*, 6(4), 1–8. <https://doi.org/10.2212/spr.2010.4.2>
- Kafle, G. K., & Kim, S. H. (2013). Effects of chemical compositions and ensiling on the biogas productivity and degradation rates of agricultural and food processing by-products. *Bioresource Technology*, 142, 553–561. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.018>
- Kanauchi, O., Mitsuyama, K., Araki, Y., Kanauchi, O., Ctr, A. B., Corporated, R., Div, D., & Co, K. B. (2001). Development of a Functional Germinated Barley Foodstuff from Brewer's Spent Grain for the Treatment of Ulcerative Colitis. *Journal of the American Society of Brewing Chemists The Science of Beer*, 0470. <https://doi.org/https://doi.org/10.1094/ASBCJ-59-0059>
- Kao, T.-H. (2016). Health Potencial for Beer Brewing Byproducts. *Intech, tourism*, 13. <https://doi.org/DOI: 10.5772/intechopen.76126>
- Karlović, A., Jurić, A., Ćorić, N., Habschied, K., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2020). By-products in the malting and brewing industries-re-usage possibilities. In *Fermentation* (Vol. 6, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6030082>
- Katz, S. H., & Voigt, M. M. (1986). Bread and Beer.pdf. *Expedition Magazine* 28.2. <http://www.penn.museum/sites/expedition/?p=5999>
- Kaur, V. I., & Saxena, P. K. (2004). Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. *Bioresource Technology*, 8524(February 2004), 2–6. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00073-7)
- Kerby, C., & Vriesekoop, F. (2017). An Overview of the Utilisation of Brewery By-Products as

- Generated by British Craft Breweries. *Beverages*, 3(4), 24.
<https://doi.org/10.3390/beverages3020024>
- Khan, A. W., Rahmam, M. S., & Ano, T. (2009). Application of malt residue in submerged fermentation of *Bacillus subtilis*. *Journal of Environmental Sciences*, 21(SUPPL. 1), S33–S35.
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60030-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60030-9)
- Khidzir, M. K., Noorlidah, A., & Agamuthu, P. (2010). Brewery Spent Grain: Chemical Characteristics and utilization as an Enzyme Substrate. *Malaysian Journal Science*, 41–51.
<https://www.uniprot.org/proteomes/UP000006919>
- Kopsahelis, N., Agouridis, N., Bekatorou, A., & Kanellaki, M. (2007). Comparative study of spent grains and delignified spent grains as yeast supports for alcohol production from molasses. *Bioresource Technology*, 98(7), 1440–1447. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.03.030>
- Kunze, W. (2010). *Technology Brewing and Malting* (4a . VLB B).
- Lacy, P., & Rutqvist, J. (2015). *Waste to Wealth, The Circular Economy Advantage*.
<https://doi.org/10.1057/9781137530707>
- Lee, N. M., Callison, C., & Seltzer, T. (2020). Sustainable Beer: Testing the Effects of Water Conservation Messages and Brewery Type on Consumer Perceptions. *Journal of Food Products Marketing*, 26(9), 619–638. <https://doi.org/10.1080/10454446.2020.1854915>
- Liu, X. Y., Wang, Q., Cui, S. W., & Liu, H. Z. (2008). A new isolation method of β -d-glucans from spent yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Hydrocolloids*, 22(2), 239–247.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.008>
- Lodolo, E. J., Kock, J. L. F., Axcell, B. C., & Brooks, M. (2008). The yeast *Saccharomyces cerevisiae* - The main character in beer brewing. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 1018–1036.
<https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00433.x>
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568.
<https://doi.org/10.1002/jib.363>
- MacGregor, A. W. (1996). MALTING AND BREWING SCIENCE : CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. *Journal of the Institute of Brewing*, 102(September 1995), 97–102.
- MacLeod, L. (2004). Barley | Malting. *N Encyclopedia of Grain Science (Vol. 1)*, 68–76.

<https://doi.org/10.1016/B0-12-765490-9/00013-6>

- Marković, I., Deponte, R., Marić, V., & Johanides, V. (1995). Enzymic hydrolysis of protein during barley spent grains mashing. *Process Biochemistry*, 30(5), 411–419. [https://doi.org/10.1016/0032-9592\(94\)00032-8](https://doi.org/10.1016/0032-9592(94)00032-8)
- Martin, D. S., Iñarra, M. O. B., Estévez, J. C. A., Iloro, J. N. I., & Zufía, F. E. J. (2020). Brewers ' Spent Yeast and Grain Protein Hydrolysates as Second - Generation Feedstuff for Aquaculture Feed. *Waste and Biomass Valorization*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01145-8>
- Martins, S., Mussatto, S. I., Martínez-avila, G., Montañez-saenz, J., Aguilar, C. N., & Teixeira, J. A. (2011). Bioactive phenolic compounds : Production and extraction by solid-state fermentation . A review. *Biotechnology Advances*, 29(3), 365–373. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.01.008>
- Mathias, T. R. dos S., Mello, P. P. M. de, & Sérvulo, E. F. C. (2014). Solid wastes in brewing process: A review. *Journal of Brewing and Distilling*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.5897/jbd2014.0043>
- Mbagwu, J. S. C., & Ekwealor, G. C. (1990). *Agronomic Potential of Brewers ' Spent Grains*. 34, 335–347.
- McCarthy, A. L., O'Callaghan, Y. C., Piggott, C. O., FitzGerald, R. J., & O'Brien, N. M. (2013). Brewers' spent grain; Bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: A review. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(1), 117–125. <https://doi.org/10.1017/S0029665112002820>
- Meneses, N. G., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2013). Produção de etanol a partir de subproduto cervejeiro. *Biotecnologia - Sociedade Portuguesa de Biotecnologia*, 3, 27–28.
- Meneses, N. G. T., Martins, S., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2013). Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer ' s spent grains. *Separation and Purification Technology*, 108, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.02.015>
- Meusdoerffer, F. G. (2009). A Comprehensive History of Beer Brewing. In *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. <https://doi.org/10.1002/9783527623488.ch1>
- Ministério dos Negócios Estrangeiros. (2017). *Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 86–88.

https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15766Portugal2017_EN_REV_FINAL_29_06_2017.pdf

Müller, A. (2002). *Cerveja* (E. Ulbra (ed.)).

Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>

Mussatto, S., & Teixeira, J. (2010). Lignocellulose as raw material in fermentation processes. *Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2(January 2010), 897–907. [http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/16762%5Cn www.formatex.info](http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/16762%5Cn%20www.formatex.info)

Mussatto, Solange I. (2009). Biotechnology for agro-industrial residues utilisation: Utilisation of agro-residues. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-Residues* (Issue January 2009). In: Singh nee' Nigam P, Pandey A, editors. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7>

Mussatto, Solange I. (2014). Brewer's spent grain: A valuable feedstock for industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(7), 1264–1275. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>

Mussatto, Solange I., Fernandes, M., Mancilha, I. M., & Roberto, I. C. (2008). Effects of medium supplementation and pH control on lactic acid production from brewer's spent grain. *Biochemical Engineering Journal*, 40(3), 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.01.013>

Mussatto, Solange I., Fernandes, M., & Roberto, I. C. (2007). Lignin recovery from brewer's spent grain black liquor. *Carbohydrate Polymers*, 70(2), 218–223. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.03.021>

Mussatto, Solange I., Rocha, G. J. M., & Roberto, I. C. (2008). Hydrogen peroxide bleaching of cellulose pulps obtained from brewer's spent grain. *Cellulose*, 15(4), 641–649. <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9198-4>

Mussatto, Solange I, & Roberto, I. C. (2006). Chemical characterization and liberation of pentose sugars from brewer's spent grain. *Journal Of Chemical Technology and Biotechnology, Journal of* (October 2005), 268–274. <https://doi.org/10.1002/jctb.1374>

Muxel, A. A. (2017). Uma Breve História sobre a Cerveja. In *Harvard Business Review* (pp. 1–8).

<https://hbrbr.uol.com.br/uma-breve-historia-sobre-blockchain/>

- Neira, K., & Jeison, D. (2010). Anaerobic co-digestion of surplus yeast and wastewater to increase energy recovery in breweries. *Water Science and Technology*, 61(5), 1129–1135. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.052>
- Nelson, M. (2005). *Scholarship at UWindsor The Barbarian's Beverage : A History of Beer in Ancient Europe*.
- Niemi, P., Martins, D., Buchert, J., & Faulds, C. B. (2013). Pre-hydrolysis with carbohydrases facilitates the release of protein from brewer's spent grain. *Bioresource Technology*, 136, 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.076>
- Nordholm, H. (2020). *Process design for utilizing spent grain as a potential energy source for craft breweries*. 22.
- Novack, M. M. R. (2010). Avaliação nutricional de grãos de cevada submetidos a diferentes processamentos. *Dissertação*.
- Office, T. C. (2021). *A equipe arqueológica co-liderada por Vischak de Princeton identifica a cervejaria em escala industrial mais antiga do mundo em Abydos, Egito, ca. 3000 AC*. Princeton University. <https://www.princeton.edu/news/2021/02/16/archaeological-team-co-led-princetons-vischak-identifies-worlds-oldest-industrial>
- Oladeji, J. T., & Alade, A. O. (2016). Bio - Ethanol Production from Spent Grain and Its Various Applications: An Overview. *The Journal of Middle East and North Africa Sciences*, 2(4), 1–9. <https://doi.org/10.12816/0032667>
- Oladeji, J. T., Alade, A. O., Popoola, S. A., & D.Ogunsola, A. (2016). *Bio-ethanol Production from Spent Grain and its Various Applications: An Overview*. The Journal of Middle East and North Africa Sciences - Academia.Edu. <https://doi.org/DOI:10.12816/0032667>
- Olajire, A. A. (2012). The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production*, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.003>
- Oliveira, J. V., Alves, M. M., & Costa, J. C. (2018). Biochemical methane potential of brewery by-products. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(2), 435–440. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1482-2>
- Oliveira, V. M., & Navega, F. (2017). *Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030*

para o Desenvolvimento Sustentável PORTUGAL Por ocasião da Apresentação Nacional Voluntária no Fórum Político de Alto Nível das Nações Unidas.

- Ortiz, I., Torreiro, Y., Molina, G., Maroño, M., & Sánchez, J. M. (2019). A Feasible Application of Circular Economy: Spent Grain Energy Recovery in the Beer Industry. *Waste and Biomass Valorization*, 10(12), 3809–3819. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00677-y>
- Papageorgiou, M., & Skendi, A. (2018). Introduction to cereal processing and by-products. In *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102162-0.00001-0>
- Pasteur, M. L. (1876). *Études sur la Bière*. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- Pejin, J., Radosavljević, M., Kocić-Tanackov, S., Marković, R., Djukić-Vuković, A., & Mojović, L. (2019). Use of spent brewer's yeast in L-(+) lactic acid fermentation. *Journal of the Institute of Brewing*, 125(3), 357–363. <https://doi.org/10.1002/jib.572>
- Perruchini, E., Glatz, C., Hald, M. M., Casana, J., & Toney, J. L. (2018). Revealing invisible brews: A new approach to the chemical identification of ancient beer. *Journal of Archaeological Science*, 100, 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.05.010>
- Petrovic, J., Pajin, B., Tanackov-Kocic, S., Pejin, J., Fistes, A., Bojanic, N., & Loncarevic, I. (2017). Quality properties of cookies supplemented with fresh brewer's spent grain. *Food and Feed Research*, 44(1), 57–63. <https://doi.org/10.5937/ffr1701057p>
- Pinto, A. R. M. (2013). *Avaliação do processo de secagem no fabrico de malte*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Porter, M. (1985). The Competitive Advantage and Sustaining Superior Performance. *Revista de Administração de Empresas*, 25(2):82-84. <https://doi.org/10.1590/S0034-75901985000200009>
- Prentice, N., & D'Appolonia, B. L. (1977). High-Fiber Bread Containing Brewer's Spent Grain.pdf. *AACC International, Cereal Che*, 1084–1095.
- Priest, F. G., & Stewart, G. G. (2006). Handbook of Brewing. In *Angewandte Chemie International Edition: Vol. Secund edi* (Issue 11).
- Puligundla, P., Mok, C., & Park, S. (2020). Advances in the valorization of spent brewer's yeast. In

- Innovative Food Science and Emerging Technologies* (Vol. 62). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102350>
- Rachwał, K., Waśko, A., Gustaw, K., & Polak-Berecka, M. (2020). Utilization of brewery wastes in food industry. *PeerJ*, 8, e9427. <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>
- Robertson, J. A., Anson, K. J. A. I., Treimo, J., Faulds, C. B., Brocklehurst, T. F., Eijsink, V. G. H., & Waldron, K. W. (2010). Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 890–896. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.019>
- Rodrigues, M. Â., Morais, J. S., & Castro, J. P. M. de. (2015). Jornadas de lúpulo e cerveja: novas oportunidades de negócio. *Instituto Politécnico de Bragança*. <http://hdl.handle.net/10198/11625>
- Rosa, N. A., & Afonso, J. C. (2015). A Química da Cerveja. *Química Nova Na Escola*, 37(2). <https://doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>
- Russ, W., Mörtel, H., & Meyer-Pittroff, R. (2005). Application of spent grains to increase porosity in bricks. *Construction and Building Materials*, 19(2), 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.014>
- Sá, P. (Org., Costa, A. P. (Org., Moreira, A. (Org., Alves, A. T. A. da R. B. A., Nascimento, A., Ulhôa, A., Batista, B., Capela, C., Venturine, C., Rodrigues, D., Moreira, E., Ribeiro, E., Silva, F., Demba, J., Lapa, L. D. P., Mota, M., Fortunato, M., & Silva, P. C. B. da. (2021). *Reflexões em torno de Metodologias de Investigação: recolha de dados* (U. Editora & U. de Aveiro (eds.); Vol. 2).
- Santos, J. L., Gomes, L. R., Neves, N. de A., & Schmiele, M. (2022). Desenvolvimento de barra de cereais com aproveitamento de resíduo de mosturação de cerveja desidratado e incorporação de proteína hidrolisada de soja e gelatina. *Research, Society and Development v. 11, n. 2, E8811225572, 2022, 2022(ISSN 2525-3409)*. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25572>.
- Santos, M., Jiménez, J. J., Bartolomé, B., Gómez-Cordovés, C., & Del Nozal, M. J. (2003). Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, 80(1), 17–21. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00229-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00229-7)
- Sawadogo, L., Sepehri, H., & Houdebine, L. M. (1989). Mise en évidence d'un facteur stimulant la sécrétion de prolactine et de l'hormone de croissance dans les drèches de brasserie.

- Reproduction Nutrition Développement*, 29(2), 139–146.
<https://doi.org/10.1051/rnd:19890202>
- Short, S. W., Bocken, N. M. P., Barlow, C. Y., Chertow, M. R., & Short, S. (2014). From Refining Sugar to Growing Tomatoes: Industrial Ecology and Business Model Evolution. *Industrial Ecology and Business Model Evolution*, 18, 603–61, 1–25. <https://doi.org/10.1111/jiec.12171>
- Sierra Nevada, & Brewing. (2015). *Biennial Sustainability*.
<https://www.cdn.sierranevada.com/sites/www.sierranevada.com/files/content/sustainability/reports/SustainabilityReport2015.pdf>
- Silva, L., Aloísio, A., Júnior, B., & Narvaes, A. (2021). Elaboração e Avaliação da Composição Centesimal de Produto Carneio Bovino Adicionado de Farinha de Bagaço de Malte. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, Vol. 2 – N, 1–15.
- Siqueira, P. B., Maria, H., Bolini, A., & Macedo, G. A. (2008). O Processo de Fabricação da Cerveja e Seus Efeitos na Presença de Polifenóis. *Alim. Nutr.*, v.19, n.4(January), 491–498.
- Skovgaard, N. (2002). Industrial Microbiology: An Introduction. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 77, Issue 3). [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(02\)00154-x](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00154-x)
- Sloane, T. R. (2012). *Green Beer: Incentivizing Sustainability in California's Brewing Industry GREEN BEER: INCENTIVIZING SUSTAINABILITY IN CALIFORNIA'S BREWING INDUSTRY*.
<http://digitalcommons.law.ggu.edu/gguelj><http://digitalcommons.law.ggu.edu/gguelj/vol5/iss2/10>
- Sousa, M. J., Baptista, C. S, (2014). Como fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatório, segundo Bolonha. 5ª Edição, *Pactor*.
- Souza, I. S. de, Junior, E. L. C., Mayer, M., Chagas, R. V. das, & Bernardi, D. M. (2020). Malte de cevada obtido da produção de cerveja artesanal: Análise físico-química e destino desse subproduto. *FAG JOURNAL OF HEALTH (FJH)*, 2(3), 370–376.
<https://doi.org/10.35984/fjh.v2i3.259>
- Staples, A. J., Reeling, C. J., Widmar, N. J. O., & Lusk, J. L. (2020). Consumer willingness to pay for sustainability attributes in beer: A choice experiment using eco-labels. *Agribusiness*, 36(4), 591–612. <https://doi.org/10.1002/agr.21655>

- Stredansky, M., & Conti, E. (1999). Xanthan production by solid state fermentation. *Process Biochemistry*, 34(6–7), 581–587. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00131-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00131-9)
- Tang, D. S., Yin, G. M., He, Y. Z., Hu, S. Q., Li, B., Li, L., Liang, H. L., & Borthakur, D. (2009). Recovery of protein from brewer's spent grain by ultrafiltration. *Biochemical Engineering Journal*, 48(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.05.019>
- Thammakiti, S., Suphantharika, M., Phaesuwan, T., & Verduyn, C. (2004). Preparation of spent brewer's yeast β -glucans for potential applications in the food industry. *International Journal of Food Science and Technology*, 39(1), 21–29. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00742.x>
- Tiozzi, F. M., Simon, A. T., Ternero, E. M., & Marques, C. S. A. (2019). *Economia Circular: um modelo de negócios complementar à sustentabilidade*. 1–9.
- Trujillo, J. G., Teixeira, M. A. S., Lima, A. H. A., Montão, D. P., Ross, T. B., Riet-Correa, G., Cerqueira, V. D., & Bezerra Júnior, P. S. (2018). Ethanol poisoning in cattle fed with malted barley waste with brewer's yeast. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, 38(3), 382–386. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-PVB-5308>
- Tse, T. J., Chicilo, F., Wiens, D. J., & Reaney, M. J. T. (2022). *Beyond Bread and Beer: Value-Added Products from Wheat*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.102603>
- United Nation. (1987). *Our Common Future (Relatório Brundtland)*. https://www.are.admin.ch/are/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un_-milestones-in-sustainable-development/1987--brundtland-report.html
- Verzele, M. (1986). CENTENARY REVIEW 100 YEARS OF HOP CHEMISTRY AND ITS RELEVANCE TO BREWING. *J. Inst. Brew.*, 92, 32–48.
- Vieira, E., Brandão, T., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2013). Evaluation of Brewer's spent yeast to produce flavor enhancer nucleotides: Influence of serial repitching. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(37), 8724–8729. <https://doi.org/10.1021/jf4021619>
- Vieira, E. F., Carvalho, J., Pinto, E., Cunha, S., Almeida, A. A., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2016). Nutritive value, antioxidant activity and phenolic compounds profile of brewer's spent yeast extract. *Journal of Food Composition and Analysis*, 52, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.07.006>

- Vitanza, R., Cortesi, A., Gallo, V., Colussi, I., & De Arana-Sarabia, M. E. (2016). Biovalorization of brewery waste by applying anaerobic digestion. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 30(3), 351–357. <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2015.2237>
- Vittuari, M., Azzurro, P., Gainani, S., Gheoldus, M., Burgos, S., Aramyan, L., Valeeva, N., Rogers, D., Östergren, K., Timmermans, T., & Bos-Brouwers, H. (2016). Guidelines for a European common policy framework on food waste prevention. In *Fusions*. [https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/D3.5 recommendations and guidelines food waste policy FINAL.pdf](https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/D3.5%20recommendations%20and%20guidelines%20food%20waste%20policy%20FINAL.pdf)
- Wang, S., Dai, G., Yang, H., & Luo, Z. (2017). Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 62, 33–86. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004>
- Westendorf, M. L., & Wohlt, J. E. (2002). Brewing by-products: their use as animal feeds. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 18(2), 233–252. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(02\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(02)00016-6)
- Worku, S., Mesfin, L., & Alemu, W. (2017). Bahir Dar Institute of Technology Faculty of Chemical and Engineering Department of Chemical Engineering Internship Report By.
- Xiros, C., Topakas, E., Katapodis, P., & Christakopoulos, P. (2008). Hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain by *Neurospora crassa*. *Bioresource Technology*, 99(13), 5427–5435. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.010>
- Yu, D., Sun, Y., Wang, W., O'Keefe, S. F., Neilson, A. P., Feng, H., Wang, Z., & Huang, H. (2020). Recovery of protein hydrolysates from brewer's spent grain using enzyme and ultrasonication. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 357–368. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14314>
- Zhang, J. Y., Park, J. W., & Kim, I. H. (2019). Effect of supplementation with brewer's yeast hydrolysate on growth performance, nutrients digestibility, blood profiles and meat quality in growing to finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(10), 1565–1572. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0837>
- Zupančič, G. D., Škrjanec, I., & Marinšek Logar, R. (2012). Anaerobic co-digestion of excess brewery yeast in a granular biomass reactor to enhance the production of biomethane. *Bioresource Technology*, 124, 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.064>

Anexos

Anexo I: Guia de Entrevistas

Tipo: Entrevista Semi -estruturada.

Destinatários: Produtores de Cerveja em Portugal Continental e Ilhas

Finalidades:

- Identificar o destino final que os produtores dão aos subprodutos da cerveja;
- Perceber de que forma valorizam os resíduos;
- Aferir os impactos económicos e ambientais;
- Perceber se tem apoios externos para reduzir a sua pegada;
- Perceber se a opinião do consumidor final tem peso na tomada de decisão.

Esta entrevista vem no âmbito da tese de mestrado sobre a sustentabilidade económica e ambiental dos subprodutos da cerveja, ministrada pela Universidade aberta.

Pretendo com esta entrevista perceber o que se faz em Portugal com os subprodutos, tanto grandes produtores como cervejeiras artesanais

Objectivos	Questões
Traçar o perfil do produtor, perceber a dimensão da produção	Região? Sul/Centro/ Norte/ Ilhas Classificação da empresa Pequena/ média/ grande (nº de funcionários)? Nº de Hectolitros de cerveja produzida (anual)? Certificação ambiental?
Identificar os seus subprodutos/ quantidades anuais	Quais são os subprodutos produzidos na fabricação da cerveja e quantidades por ano? <i>-Trub</i>

	<p>-<i>Dreche</i></p> <p>-Levedura</p> <p>-Outros, quais?</p>
<p>Perceber se os reutilizam e de que forma</p>	<p><i>Trub:</i></p> <p>- Reutiliza a trub na sua cervejaria?</p> <p>Se Sim, De que forma?</p> <p>Se Não, Qual o destino final</p> <p><i>Dreche:</i></p> <p>- Reutiliza a <i>dreche</i> na sua cervejaria?</p> <p>Se Sim, De que forma?</p> <p>Se Não, Qual o destino final</p> <p><i>Levedura:</i></p> <p>- Reutiliza a levedura na sua cervejaria?</p> <p>Se Sim, De que forma?</p> <p>Se Não, Qual o destino final?</p>
<p>Qualidade e Segurança</p>	<p>Alguns destes procedimentos podem por em causa as questões de qualidade da cerveja?</p> <p>A utilização destes subprodutos como matérias-primas podem acarretar alguns problemas de segurança alimentar:</p> <p>Armazenamento</p> <p>Higienização dos equipamentos</p> <p>Transporte</p>
<p>Investimentos</p>	<p>Para os procedimentos adotados foram necessários investimentos (equipamentos/infra-estruturas/RH)? Quais?</p> <p><i>Trub</i></p> <p><i>Dreche</i></p> <p>Levedura</p> <p>Outros</p>

Retorno económico	Qual é o retorno em termos económicos desse procedimento?
Preocupação ambiental	Qual é o retorno em termos ambientais desse procedimento? Qual a relação desta preocupação com o consumidor?
Apoios Externos	Teve apoios/ subsídios das Entidades Publicas para os investimentos?
Motivações	Motivação para o investimento: -Questões económicas? -Questões ambientais? -Marketing do Produto?
Barreiras	Barreiras para opções alternativas mais vantajosas? -Influência de políticas/regulamentos; -Responsabilidade social; - Custos; -Produção.
Impacto no produto final	Considera a sua cerveja um produto sustentável? Tem a perceção da intenção de compra por parte do consumidor final perante uma cerveja sustentável? Está disposto a assumir os custos dessa sustentabilidade ou imputar no preço final dos vossos produtos?

Anexo II: Inquérito por questionário aos consumidores

Inquérito sobre a perceção dos consumidores relativamente à sustentabilidade económica e ambiental na produção da cerveja

Este inquérito surge no âmbito da dissertação de mestrado em Ciências do Consumo Alimentar na Universidade Aberta, subordinada ao tema Sustentabilidade Económica e Ambiental dos Subprodutos da Cerveja.

A vossa participação e as vossas respostas são importantes para perceber o comportamento do consumidor, na hora da escolha e compra, perante uma cerveja económica e/ou ambientalmente sustentável.

Qualquer dúvida ou questão sobre o estudo pode contactar através do e-mail ssandrapestana@hotmail.com

Muito obrigado pela vossa colaboração!

*Obrigatório

Caracterização do consumidor

1. Qual o seu género *

Marcar apenas uma oval.

- Feminino
 Masculino

2. Qual a sua idade *

Marcar apenas uma oval.

- < 18 anos
 18 aos 30 anos
 31 aos 40 anos
 41 aos 50 anos
 > 50 anos

Secção sem título

3. Zona de residência *

Marcar apenas uma oval.

- Região norte de Portugal
- Região centro de Portugal
- Região sul de Portugal
- Arquipélago dos Açores
- Arquipélago da Madeira

Hábitos de consumo de cerveja

4. Costuma consumir cerveja? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

Secção sem título

5. Em que circunstâncias costuma consumir cerveja? *

Marcar tudo o que for aplicável.

- Em convívios
- Em ambiente familiar
- Às refeições
- Quando tem sede
- Em todas as hipóteses anteriores
- Outra: _____

6. Onde costuma comprar? *

Marcar tudo o que for aplicável.

- Supermercados
- Mercado tradicional
- bar/ restauração
- Não compra
- Outra: _____

Secção sem título

7. Quantas cervejas em média compra por semana? *

Marcar apenas uma oval.

- Menos que um pack (6 cervejas) por semana
- Um pack por semana
- Dois packs por semana
- Uma caixa (24 cervejas) por semana
- Mais que uma caixa por semana

Identificar
as
motivações
do
consumidor

O fabrico de cerveja inevitavelmente pressupõe elevados consumos energéticos e associado ao processo de produção estão os resíduos sólidos, também conhecidos por subprodutos. Os subprodutos mais abundantes são provenientes das matérias-primas da cerveja e são: o bagaço de malte (dreche), o resíduos de lúpulo (trub) e levedura excedente. Um dos grandes desafios dos produtores de cerveja é valorizar estes resíduos de forma sustentável, ou seja, mantê-los no processo e valoriza-los como matéria-prima, para outros circuitos, sem comprometer a segurança alimentar.

8. Qual estilo de cerveja que consome com mais frequência? *

Marcar apenas uma oval.

- Sem Álcool
- Lager
- Stout
- Artesanal
- Outra: _____

9. Quais os aspetos que mais valoriza numa empresa produtora de cerveja? *

Marcar tudo o que for aplicável.

- Sustentabilidade
- Certificação ambiental
- Marketing
- Marca
- Produto

10. Quais os fatores que mais influenciam na decisão de comprar? *

Marcar tudo o que for aplicável.

- Características sensoriais
- Imagem
- Rótulo
- Marketing
- Qualidade da cerveja
- Certificação ambiental
- Sustentabilidade do produto

11. Está disposto a pagar mais por uma cerveja ambientalmente sustentável? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Talvez

Secção sem título

12. Quanto estaria disposto a pagar a mais, sobre o valor unitário, de uma cerveja sustentável? *

Marcar apenas uma oval.

- até 1%
- até 5%
- até 10%
- até 15%

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google.

Google Formulários