



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



**A DIVERSIDADE FITOQUÍMICA EM CERVEJAS ARTESANAIS E SUA  
RELAÇÃO COM A SAÚDE**

Patos de Minas  
2023

VICTOR SANTOS BERTOLANI

**A DIVERSIDADE FITOQUÍMICA EM CERVEJAS ARTESANAIS E SUA  
RELAÇÃO COM A SAÚDE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Engenharia  
Química da Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos de Souza  
Gomes

Patos de Minas

2023



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



### HOMOLOGAÇÃO Nº 98

VICTOR SANTOS BERTOLANI

#### Diversidade fitoquímica em cervejas artesanais e sua relação com a saúde

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

**Prof. Dr. Marcos de Souza Gomes**  
Orientador - IQUFU/UFU

**Dr.<sup>a</sup> Lívia Carneiro Fidélis Silva**  
IBTEC/UFU

**Dr. Raoni Pais Siqueira**  
IBTEC/UFU

Patos de Minas, 5 de julho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos de Souza Gomes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/07/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Raoni Pais Siqueira, Técnico(a) de Laboratório**, em 05/07/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lívia Carneiro Fidélis Silva, Usuário Externo**, em 05/07/2023, às 11:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4615542** e o código CRC **66D195FC**.

## AGRADECIMENTO

Agradeço, primeiramente, aos meus familiares, meus pais, meus irmãos e irmãs, avós e em especial minha mãe Maria, foram minha base de apoio ao longo de toda essa trajetória, principalmente nessa etapa final, fornecendo todo o apoio e meios necessários frente aos obstáculos enfrentados ao longo do caminho.

Aos amigos próximos, Caroline e Letícia, que me apoiaram, mesmo a maior parte do tempo distantes, me dando forças e apoio psicológico e o afeto que, mesmo de forma remota, tornou esse caminho mais confortável.

Aos meus amigos da universidade, que me acompanharam e me deram apoio e bom convívio, em especial a Eva, que me acompanhou até o final da trajetória até então, agradeço pelo convívio e companhia ao longo desse caminho e por toda a ajuda e principalmente pelo afeto e amizade em si, que fez com que boa parte dessa trajetória fosse mais tranquila e aconchegante.

Agradeço à todo o corpo docente, técnicos e servidores da UFU, pelos ensinamentos, tutoria e auxílio proporcionados ao longo desse período, em especial à prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marieli de Lima, por ter me orientado a aprimorar o meu conhecimento científico adquirido voltado à pesquisa e escrita, além do acompanhamento e tutoria necessário para tal, ao prof. Dr. Marcos Gomes, pelo auxílio e guia necessários para a elaboração do estudo, ao prof. Dr. Rodrigo Souza pelos ensinamentos, e ao prof. Dr. Danilo Silva pela tutoria e orientação no grupo PET.

Por fim, agradeço à UFU, à CNPq e a todos que tornaram possível, pelo fornecimento dos recursos e meios necessários, o acesso à educação e ao ensino superior.

## RESUMO

A elaboração de cervejas teve seu início a milhares de anos, sendo que ao longo desse tempo passou por muitas modificações e desenvolveu determinada singularidade e especificidade para cada tipo. É definida como uma bebida fermentada elaborada à base de água, cereais, lúpulo e levedura utilizada no processo fermentativo. Após maltagem do cereal, passa por diversas operações unitárias em diferentes condições de processamento que, junto com a incorporação de seus ingredientes e adjuntos na produção artesanal, caracterizam o produto e criam seu perfil sensorial e químico. Os compostos bioativos desses ingredientes e adjuntos conferem à bebida uma diversidade fitoquímica específica para cada produto elaborado, que elevam seu valor nutricional, e que podem levar ao consumidor uma série de benefícios à saúde, dada a elevada atividade antioxidante dessas substâncias e sua diversidade frente às diferentes formulações criadas para a bebida em sua produção artesanal, o que pode impactar na qualidade de vida do consumidor e proporcionado também uma experiência única em seu consumo. O estudo tem como foco avaliar a diversidade desse universo fitoquímico existente nessas cervejas artesanais de forma teórica e o relacionar com a capacidade antioxidante e os benefícios proporcionados em seu consumo.

**Palavras-chave:** Cerveja artesanal; Compostos bioativos; Fitoquímicos; Saúde.

## ABSTRACT

The act of brewing began thousands of years ago, and over that time it has undergone many modifications, developing a certain uniqueness and specificity for each beer produced. It is defined as a fermented beverage made from water, cereal, hop, and yeast, that is used in the alcoholic fermentation process. After malting step, it undergoes several unit operations under different processing conditions which, together to the incorporation of its ingredients and adjuncts in artisanal production, characterizes the product and create its sensory and chemical profile. The bioactive compounds of these ingredients and adjuncts provides this drink a specific phytochemical diversity for each beer produced, which increase its nutritional value, and brings to the consumer a series of health benefits, given the high antioxidant activity of these substances and their diversity due to the different formulations created for this beverage inside its artisanal production, that makes an impact in the quality of life of consumers and also provides a unique experience in its consumption. The study focuses on analyzing this phytochemical universe existing in these craft beers theoretically and relating it to their antioxidant potencial and the benefits provided by their consumption.

**Key words:** Craft beer; Bioactive compounds; Phytochemicals; Health.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
3. METODOLOGIA.....	3
3.1. SELEÇÃO DO MATERIAL TEÓRICO.....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
4.1. DEFINIÇÕES E HISTÓRIA DA CERVEJA.....	3
4.2. O MERCADO CERVEJEIRO E O CONSUMO .....	6
4.3. MATÉRIAS-PRIMAS E PROCESSO PRODUTIVO .....	10
4.3.1. A água .....	11
4.3.2. O malte de cevada .....	12
4.3.3. O Lúpulo .....	14
4.3.4. A Levedura.....	16
4.3.5. O Processo Produtivo Das Cervejas Artesanais.....	17
4.4. COMPOSTOS BIOATIVOS: A DIVERSIDADE FITOQUÍMICA NOS ALIMENTOS E PRESENÇA DE ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....	26
4.4.1. Compostos Fenólicos .....	27
4.4.2. Terpenoides .....	28
4.4.3. Compostos organossulfurados e nitrogenados .....	29
4.4.4. Atividade antioxidante e relação com a saúde .....	30
4.5. A PRESENÇA DOS FITOQUÍMICOS NAS CERVEJAS ARTESANAIS E SEU IMPACTO NA SAÚDE .....	33
4.5.1. Lúpulo .....	34
4.5.2. Cevada.....	36
4.5.3. A diversidade fitoquímica na elaboração de cervejas especiais e relação com a saúde.....	39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## 1. INTRODUÇÃO

A diversificação de produtos tem sido cada vez mais recorrente na indústria alimentícia, no intuito de tentar absorver uma maior faixa de mercado e a consolidação da empresa no ramo. Um segmento da indústria de alimentos e bebidas que tem desenvolvido novas tendências de mercado é o de bebidas alcoólicas, em especial a indústria cervejeira voltada ao preparo artesanal. Essa bebida, que ao longo dos anos foi adquirindo um perfil sensorial cada vez mais refinado e diversificado, tem sido aprimorada e apurada ao que tange sua composição química, conquistando um perfil de consumidores que exigem, em sua maior parte, uma exclusividade ao produto, tanto nos aspectos sensoriais quanto nutricionais (ASSIS, 2021).

Nesse sentido, a fim de se obter uma bebida com um perfil mais característico e único, muitos fabricantes no Brasil e no mundo têm investido em microcervejarias que direcionam sua produção a cervejas com maior variedade de sabores, porém ainda com um apelo nutricional. De acordo com os dados registrado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, só no ano de 2021 foram registradas 166 novas cervejarias no Brasil (MAPA, 2021), que exploram e elaboram uma variedade de ingredientes no preparo de seus produtos.

A cerveja artesanal já se tornou um produto universalmente popular e amplamente consumido no Brasil, dada suas propriedades sensoriais, nutricionais e farmacológicas. Diversos estudos na literatura evidenciam que seu consumo, quando moderado e com determinada constância, pode proporcionar inúmeros benefícios à saúde do consumidor, como aponta Humia *et al.* (2019) em seu estudo, uma vez que a bebida é preparada a partir de ingredientes que contêm uma gama de compostos bioativos, que englobam os fitoquímicos presentes principalmente em matrizes vegetais, como polifenóis, terpenoides, alcaloides e outras substâncias das quais conferem uma série de vantagens nutricionais ao consumidor e um agrega valor nutricional a bebida, além de influenciar na estabilidade de seu sabor e aroma (PEREIRA, 2021).

Com isso, o apelo constante por uma melhoria na qualidade de vida dos consumidores da bebida alcoólica incentiva à inovação e à busca por matérias-primas que

sejam fontes desses compostos. A legislação brasileira estabelece a definição de cerveja como a “bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo”, regulamentando a utilização de adjuntos especiais na elaboração do produto (BRASIL, 2019). Com isso, a adição de diferentes ingredientes na elaboração artesanal dessas cervejas tem sido amplamente estudada e aprofundada no que envolve seu conteúdo fitoquímico, o potencial antioxidante proporcionado pelos compostos e seus aspectos farmacológicos e possíveis impactos na saúde e qualidade de vida do consumidor, como avaliado por Ambra *et al.* (2021), que em seus estudos, apontaram a presença de uma série de fitoquímicos oriundos de diferentes ingredientes comumente utilizados no preparo da bebida.

Dessa forma, esse estudo visa sondar o universo fitoquímico dentro dos compostos bioativos que existem nas cervejas artesanais, frequentemente exploradas pelos seus consumidores e produtores, a partir de uma revisão na literatura científica.

## **2. OBJETIVOS**

Frente ao exposto, esse estudo possui como objetivo realizar o levantamento de dados bibliográficos relacionados à elaboração de cerveja artesanal e os diversos adjuntos que podem ser utilizados no processo produtivo, exaltando seus componentes fitoquímicos, e sua relação com a saúde e bem-estar.

### **2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Levantamento de dados bibliográficos voltados para a fundamentação teórica sobre a história da cerveja, panorama no mercado nacional e mundial e seu processo produtivo;
- Referencial teórico sobre os compostos bioativos, a atividade antioxidante das substâncias fitoquímicas e seu impacto na saúde;
- Abordagem teórica da diversidade do conteúdo fitoquímico oriundo dos principais ingredientes e adjuntos das cervejas artesanais, evidenciando sua relação com a saúde do consumidor e qualidade de vida.

### **3. METODOLOGIA**

Para a execução desse estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com base na literatura científica disponível, utilizando estudos tanto nacionais quanto internacionais, dentro do tema proposto, a partir da leitura, comparação e coleta de informações consideradas relevantes das citações escolhidas.

#### **3.1. SELEÇÃO DO MATERIAL TEÓRICO**

O material utilizado nas pesquisas de referencial teórico foi obtido a partir de plataformas online disponíveis tanto em base fornecida pelo âmbito acadêmico quanto de livre acesso, como Periódicos CAPES, Google Acadêmico, Scopus, Scielo, ScienceDirect (Journal of Food Engineering, etc), PubMed Central, MDPI (International Journal of Molecular Sciences, etc), Livros, dentre outros, englobando artigos científicos publicado em revistas nacionais e internacionais, teses, dissertações, monografias. Os seguintes termos foram utilizados como referência para as pesquisas online: Cerveja artesanal; Produção de cerveja artesanal; Compostos bioativos; Fitoquímicos da cerveja; Matérias-primas de cervejas artesanais; Adjuntos cervejeiros; Atividade antioxidante em alimentos; Cerveja e saúde. Dos 100 títulos identificados na estratégia de busca, após comparação e avaliação de inclusão e exclusão, foram selecionados os 50 mais adequados e relevantes voltados para o tema proposto.

### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **4.1. DEFINIÇÕES E HISTÓRIA DA CERVEJA**

De grande importância comercial, sendo uma bebida produzida em suas diferentes formas e consumida mundialmente, a cerveja é uma das bebidas mais consumidas do mundo, sendo a quarta bebida alcoólica mais consumida atualmente no mercado. A bebida é definida, de forma geral, como o produto obtido a partir da fermentação do mosto, uma solução aquosa contendo nutrientes e a fonte de carboidratos necessários para o processo fermentativo, utilizando leveduras do gênero *Saccharomyce*, com a junção do

lúpulo, agregando aroma e sabor característico à bebida (SILVA *et al.*, 2016). A cerveja é um produto alimentício definido pela legislação brasileira como a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro (BRASIL, 2019)

A palavra latina que denomina a bebida é oriunda do gaulês *cerevisiae*, em homenagem à Ceres, deusa da agricultura e fertilidade na mitologia romana (BARBOSA, 2018). No que envolve a sua história, a cerveja pode ser considerada a bebida alcoólica mais antiga que é consumida pela humanidade, e pode-se dizer que a bebida provavelmente tenha sido descoberta por acaso, com alguns processos que possam ter ocorrido de forma espontânea, dado os aspectos das etapas de sua produção, seus ingredientes e também as formas de conservação que eram utilizados pós-colheita para posterior alimentação dos povos da época (SILVA *et al.*, 2016). Seu consumo envolve um aspecto cultural e regional em que a fabricação e consumo de bebidas e pães se tornou comum com a evolução das civilizações, o que demonstra também uma possível relação entre o surgimento e a história desses produtos, visto a similaridade de alguns ingredientes e seus processos de fabricação (BARBOSA, 2018).

Existem indícios de que a prática da elaboração de cerveja iniciou na região da Mesopotâmia, onde a cevada se desenvolve em estado selvagem. Os primeiros registros da elaboração da bebida giram em torno de 6000 a. C. e remetem aos Sumérios, povo mesopotâmico, sendo que alguns artefatos e documentos históricos demonstram que esses povos se alegravam com uma bebida fermentada obtida de cereais, muitas vezes sendo utilizada como um meio de pagamento ou moeda de troca. (RAIHOFER *et al.*, 2022). Ao longo dos anos, a fabricação da bebida foi se tornando tradicional para os povos egípcios, que com o aprendizado da fabricação da bebida, carregaram a tradição e agregaram à dieta diária da população, onde as mulheres eram encarregadas de manterem as casas de cerveja existentes naquele tempo. No decorrer do tempo, com a expansão do Império Romano, a cerveja foi aos poucos sendo introduzida a vários povos, em determinando momento chegando então à Britânia e também à região de Gália (atual França), ganhando então seu nome latino (BARBOSA, 2018).

A cerveja mais antiga possuía aspectos sensoriais um pouco distintos das cervejas produzidas atualmente no mercado. Como a fabricação ocorria de forma mais artesanal e

em virtude da qualidade e variedade dos ingredientes utilizados na época, o produto apresentava coloração mais escura, um amargor mais elevado, maior turbidez e teor alcoólico, e menor teor de gás carbônico e por consequência quantidade de espuma (RAIHOFER *et al.*, 2022). Conforme BARBOSA, 2018, em 1516, foi estabelecida a lei da pureza alemã, determinando que a cerveja poderia ser produzida somente a partir de cevada, lúpulo e água. Com o tempo, no intuito de obter um produto mais elaborado no que envolve a qualidade e diversificação de sabor e aroma, e para maior aproveitamento dos cereais consumidos na época, as cervejas podiam ser elaboradas com diferentes tipos de cereais, como trigo, sorgo e arroz, além da cevada, e podendo conter também a adição de uvas, ervas e mel. Assim, a elaboração da bebida foi sendo aprimorada ao longo dos anos e tomando diferentes rumos. (SILVA *et al.*, 2016)

Com a chegada de D. João VI e da família real portuguesa no Brasil colonial, o consumo de cerveja se tornou um hábito popular, onde o produto era importado da Europa e somente em 1888 que foi fundado no estado do Rio de Janeiro a fábrica Cerveja Brahma Villiger & Cia (BARBOSA, 2018). Dessa forma, segundo Silva *et al.* (2016), com a expansão do consumo da bebida pelos continentes e a diversidade nas variedades e tipos de ingredientes cervejeiros utilizados, juntamente com o aprimoramento das técnicas e procedimentos de fabricação da bebida e sua ampliação na escala do processo produtivo, as cervejas foram adquirindo seus sabores e aromas distintos, apresentando atualmente diversos tipos e categorias que distinguem alguma etapa no método de fabricação, na região de origem, ingredientes utilizados e principalmente nos aspectos sensoriais da bebida, que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado. A figura 1 demonstra um pouco da variedade de algumas cervejas atuais.

**Figura 1.** Diferentes cervejas artesanais dispostas em recipientes.

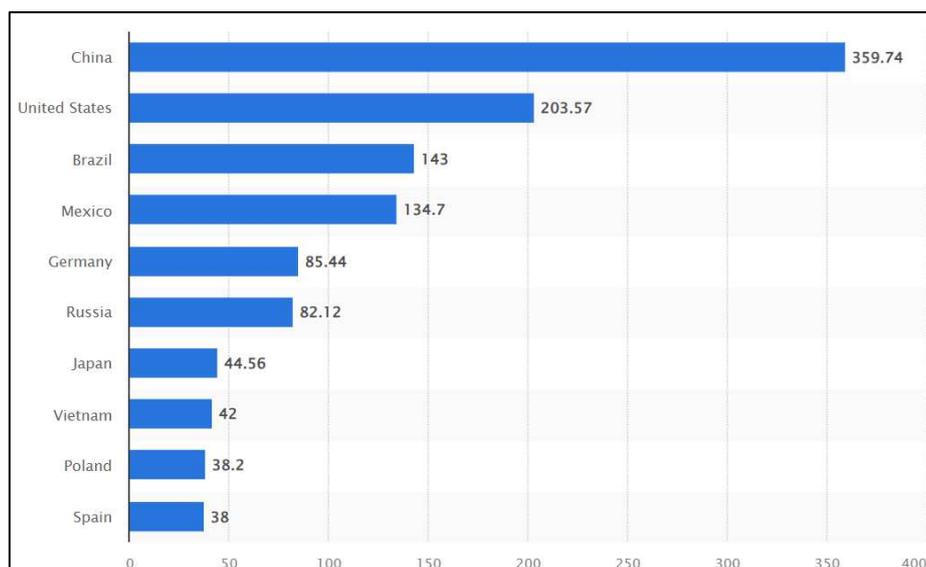


**Fonte:** PIMENTA, 2020.

## 4.2. O MERCADO CERVEJEIRO E O CONSUMO

A cerveja é considerada a terceira bebida mais consumida do mundo, ficando atrás apenas para a água e chá, e é a primeira bebida obtida a partir da fermentação alcoólica mais consumida no mundo, sendo altamente competitiva no mercado e possuindo forte presença na movimentação econômica de diversos países ao redor do mundo (NAVE *et al.*, 2022). Tanto as cervejas industriais como as artesanais representam grande parte do mercado financeiro europeu, do oriente médio e na América, sendo que a China, os Estados Unidos, o Brasil, o México, a Rússia e a Alemanha se destacam, respectivamente, como os maiores produtores e consumidores de cerveja no mundo em termos de volume. (STATISTA, 2022) É possível observar no gráfico da figura 2 o detalhamento do ranking dos países relativo ao consumo mundial dentro do mercado cervejeiro no ano de 2021.

**Figura 2.** Ranking do consumo mundial de cerveja, em milhões de hectolitros.

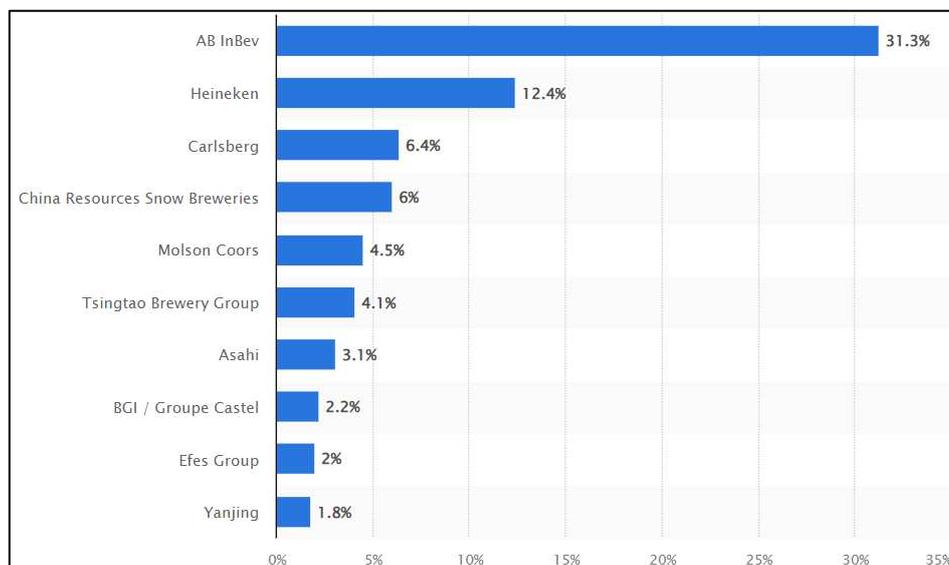


Fonte: STATISTA, 2022.

Já no que envolve o consumo per capita, a República Tcheca é o país que se destaca nesse quesito, seguidos da Áustria, Polónia, Romênia e Alemanha. Logo, entende-se que a Alemanha se encontra dentro do ranking de maiores produtores e consumidores de cerveja do mundo em termos de volume e no consumo per capita



**Figura 4.** Ranking das companhias produtoras de cerveja (% *market share*) em 2021.



Fonte: STATISTA, 2022.

Atualmente, grande parte do mercado cervejeiro é constituído pelas cervejarias artesanais, uma vez que o crescimento considerável de microcervejarias regionais e produção de cervejas especiais nos últimos anos vem ocupando um espaço considerável na economia dos países de maior relevância nesse ramo. As previsões para esse ramo do mercado são promissoras e, com isso, atrai a atenção das grandes companhias produtoras de cervejas, que realizam negociações e aquisições de algumas das marcas mais famosas de cervejas artesanais, como a Baden Baden, Colorado, entre outras (NAVE *et al.*, 2022). Na figura 5, pode-se observar algumas características consideradas relevantes das previsões no panorama mundial de cervejarias artesanais ao longo dos próximos anos.

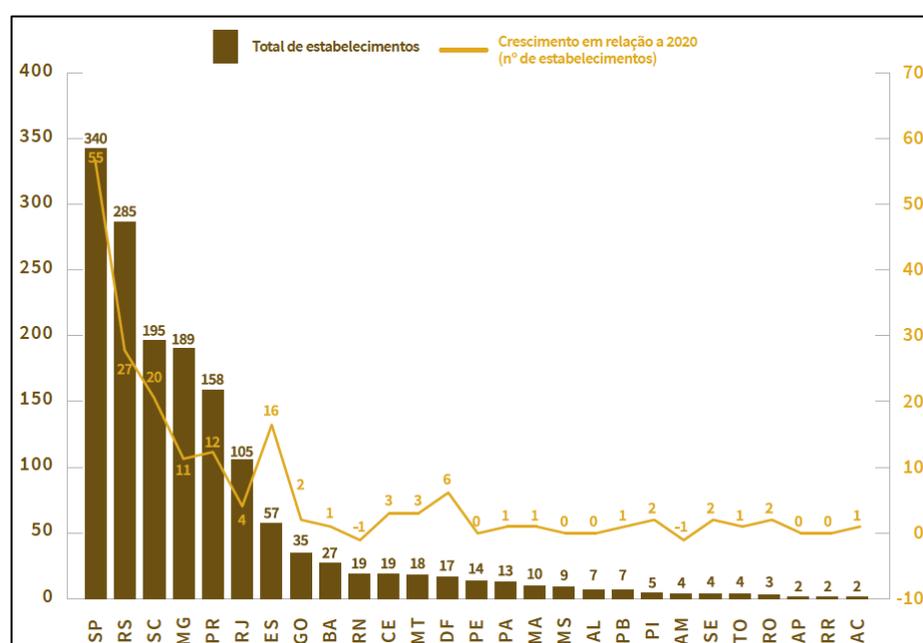
**Figura 5.** Aspectos da previsão do panorama mundial em cervejarias artesanais.



Fonte: STATISTA, 2022.

Um dos principais responsáveis no aumento do consumo de cervejas artesanais no Brasil é a difusão entre os próprios consumidores. No Brasil, segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária, em 2021, o número de estabelecimentos produtores de cerveja registrados atingiu a marca de 1.549 unidades, representando um aumento de 12% em relação ao ano anterior, o que corresponde a um aumento líquido de 166 cervejarias, sendo a maior parte das cervejarias registradas no Brasil da região Sul e Sudeste do país (MAPA, 2021). No gráfico da figura 6 é possível observar a quantidade de estabelecimentos que foram registrados nos estados do país, assim como seu crescimento relativo ao ano de 2020.

**Figura 6.** Estabelecimentos registrados por Unidade de Federação.



Fonte: MAPA, 2021.

No que envolve a exportação e importação do produto, ao longo dos últimos anos houve um grande aumento na exportação brasileira de cervejas, um crescimento que representa em torno de 200%, o que pode ser explicado pela expansão do mercado nesse ramo. Esses dados podem ser observados com mais detalhes na tabela da figura 7.

**Figura 7.** Exportação da cerveja.

Ano	País de destino (n°)	Peso (kg)	Valor (US\$)	Relação Valor/Peso (US\$/Kg)
2011	25	80.331.760	48.262.928	0,60
2012	27	99.265.802	59.245.363	0,60
2013	30	109.818.754	66.547.631	0,61
2014	32	137.601.247	89.032.580	0,65
2015	25	145.204.840	89.534.725	0,62
2016	32	128.179.068	78.039.487	0,61
2017	24	156.545.512	98.806.226	0,63
2018	56	135.526.986	88.470.594	0,65
2019	73	128.351.498	80.283.912	0,63
2020	79	174.429.770	92.781.326	0,53
2021	71	241.116.776	131.534.905	0,55

Fonte: MAPA, 2021.

A redução na importação brasileira de cerveja pode ser dada por esse aumento da oferta de produto nacional, e provavelmente foi intensificada nesses últimos anos com a pandemia da Covid-19, resultando no menor ingresso de cervejas estrangeiras no país. Esses dados podem ser observados com mais detalhes na tabela da figura 8. (MAPA, 2021)

**Figura 8.** Importação da cerveja.

Ano	País de origem (n°)	Peso (kg)	Valor (US\$)	Relação Valor/Peso (US\$/Kg)
2011	23	44.607.806	40.620.093	0,91
2012	28	43.336.059	44.971.539	1,04
2013	29	34.103.434	39.735.619	1,17
2014	31	36.194.227	45.046.827	1,24
2015	31	59.001.213	56.375.722	0,96
2016	30	33.610.365	29.867.585	0,89
2017	30	36.492.504	31.505.637	0,86
2018	27	52.216.612	46.093.763	0,88
2019	31	46.247.364	42.600.438	0,92
2020	25	17.021.653	15.262.703	0,90
2021	27	18.406.249	15.763.114	0,86

Fonte: MAPA, 2021.

### 4.3. MATÉRIAS-PRIMAS E PROCESSO PRODUTIVO

Atualmente, existem diferentes tipos e estilos de cervejas, principalmente tratando-se das cervejas artesanais, onde as condições das etapas do processo produtivo e os diversos ingredientes que podem ser utilizados as diferenciam umas das outras. Contudo, os principais componentes utilizados como base para a produção de cervejas, em geral, são a água, o malte de cevada, o lúpulo e a levedura, sendo que cada uma dessas

matérias-primas conferem uma característica final específica ao produto acabado. Dessa forma, é essencial que para a obtenção de um produto de boa qualidade, essas matérias-primas também possuam origem e tratamento adequados para esse fim. (ASSIS *et al.* 2021)

#### **4.3.1. A água**

A água compõe a maior parte da cerveja, sendo em torno de 90% do produto acabado composto por água, sendo então de grande relevância para o aspecto final do produto. A água potável deve ser insípida, incolor e inodora, manipulada de tal forma que garanta sua qualidade química e microbiológica. Sua estrutura, de característica polar, permite que tenha uma boa atuação como solvente ao longo do processo produtivo. O ambiente e o solo da região influenciam diretamente nos teores de sais minerais e íons presente na água, o que pode viabilizar ou inviabilizar a produção de um determinado tipo de cerveja, uma vez que ela possui influência praticamente em todas as etapas do processo, como na extração dos componentes químicos do lúpulo, na ação das enzimas, na desnaturação das proteínas dos grãos, no andamento do processo fermentativo, entre outras. (OLIVEIRA *et al.*, 2022) Os parâmetros físico-químicos da água podem também influenciar na percepção sensorial no que envolve o aroma e o sabor da cerveja no paladar, além de alguns aspectos nas reações químicas que ocorrem ao longo de todo o processo produtivo. Dessa forma, é de grande importância a realização de análises físico-químicas na água e submeter essa matéria prima ao tratamento adequado a fim de alcançar os parâmetros desejáveis para o tipo de cerveja a ser elaborada. (ASSIS *et al.* 2021) É possível observar na tabela da figura 9 as especificações gerais dos parâmetros desse componente.

**Figura 9.** Especificações físico-químicas da água para a produção de cerveja.

Parâmetro	Umidade	Especificação
Aparência	-	Límpida e clara
Sabor	-	Insipida
Odor	-	Inodoro
pH	pH	6,5 - 8,0
Cor	mg Pt/L	0 - 5
Turbidez	NTU	Menor que 0,4
Matéria orgânica	mg O <sub>2</sub> cons./L	0-0,8
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	50 - 150
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	18,0-79,0
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	0,8-25,0
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	1 - 30
Cloretos	mg Cl/L	1 - 20
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	Ausência
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L	Ausência
Sílica	mg SiO <sub>2</sub> /L	1 - 15
Cálcio	mg Ca <sup>2+</sup> /L	5-22,0
Magnésio	mg Mg <sup>2+</sup> /L	1 - 6
Ferro	mg Fe/L	Ausência
Alumínio	mg Al/L	Máx. 0,05
Amoníaco	mg N/L	Ausência
CO <sub>2</sub> livre	mg CO <sub>2</sub> /L	0,5 - 5

Fonte: ASSIS, 2021.

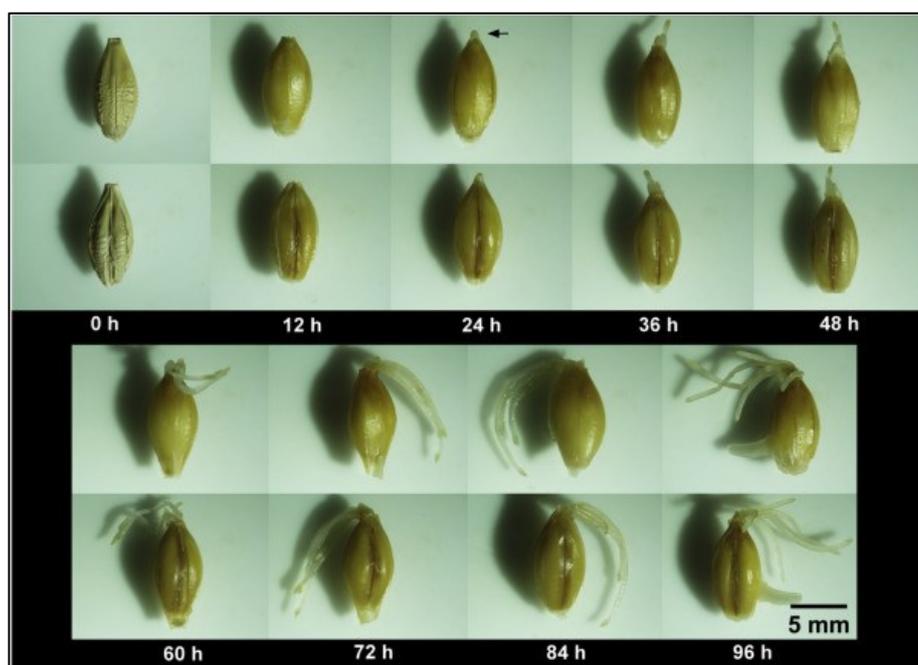
#### 4.3.2. O malte de cevada

A cevada é nativa de climas temperados, e essa planta faz parte da família das gramíneas. Após sua colheita, os grãos pré-selecionados de cevada passam por uma germinação controlada, a fim de quebrar a dormência do grão, obtendo dessa forma a degradação do endosperma dos grãos e a acumulação de suas enzimas ativas. Dessa forma, obtemos a cevada malteada para a obtenção da cerveja (PIMENTA *et al.*, 2020). A cevada, em comparação com outros cereais que podem ser utilizados também como matérias-primas fonte de amido, como o arroz, milho, trigo e soja, possui certa preferência na fabricação de cerveja devido a alguns aspectos como, por exemplo, seu elevado teor de amido, o que influencia no teor alcoólico da bebida, e a torna mais atrativa em termos de custo, sendo uma boa fonte de carboidratos fermentescíveis, além da maior facilidade para maltagem desse grão. Além disso, possui um equilíbrio mais adequado quanto ao teor de proteínas e lipídios em relação aos demais cereais, o que pode influenciar na estabilidade coloidal, espuma, corpo e sabor da bebida. (OZCAN *et al.*, 2017)

A obtenção do malte de cevada é dada basicamente por três etapas: a hidratação dos grãos, (ou maceração), a germinação e a secagem. Na etapa de maceração dos grãos, que inicialmente possuem em torno de 12% de umidade, ocorre a umidificação a partir do contato direto com água, constantemente aerada, uma vez que em contato com a água, o metabolismo da planta é acelerado e inicia-se respiração celular, e após a absorção, a umidade eleva-se até por volta de 45%, onde os grãos podem ganhar até 40% de volume nesse processo, que pode ser realizado em mais de um ciclo para obter melhor resultado. (OZCAN *et al.*, 2017)

Então, na etapa seguinte, a germinação dos grãos, que ocorre sob condições controladas de temperatura e umidade (ventilação com vapor d'água constante), os grãos são amolecidos facilitando sua posterior moagem, onde as enzimas presentes nas cascas são ativadas e começam o processo de clivagem de algumas proteínas, gerando uma matriz de hidrocarbonetos complexa, além da produção também de amilases que na etapa de mosturação do processo produtivo. Por conta desse procedimento, forma-se como tempo as radículas dos grãos que são posteriormente removidas, obtendo-se então a forma mais simples do malte, o malte claro, utilizado como base, possuindo seu interior rico em amido e enzimas ativas (ASSIS *et al.*, 2021). Na figura 10 é possível observar o desenvolvimento dos grãos ao longo das etapas.

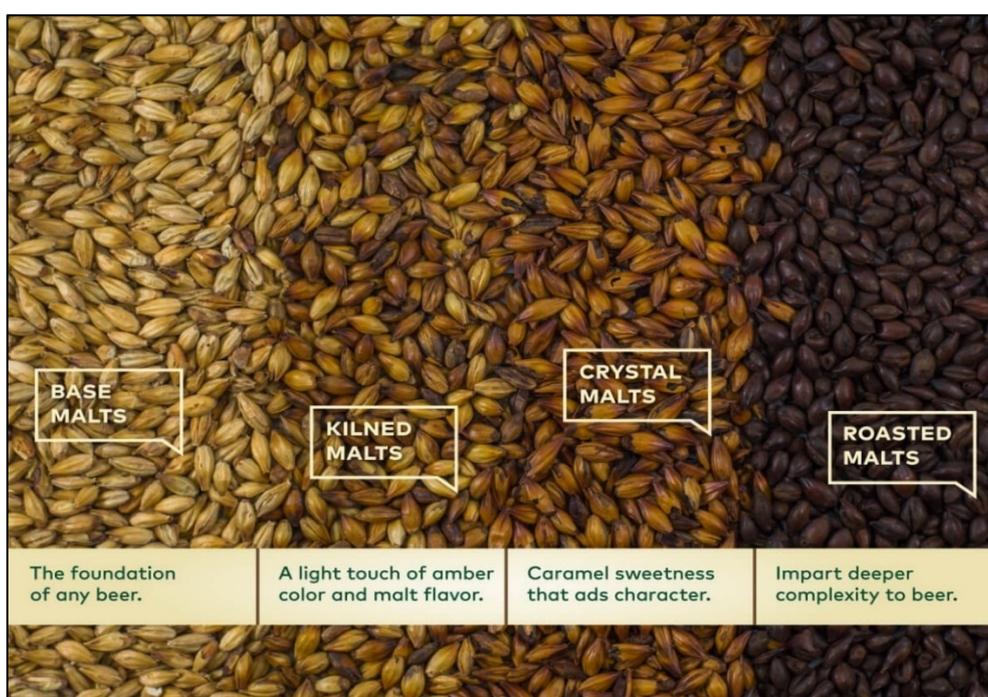
**Figura 10.** Evolução do grão de cevada ao longo da germinação.



Fonte: ÖZCAN, 2018.

Por fim, os grãos germinados são submetidos ao processo de secagem com ar quente seco, onde o tempo e temperatura nessa etapa são cruciais para definir os aspectos sensoriais do produto acabado, devido as reações de *maillard* que ocorrem ao longo da secagem dada a presença de proteínas e temperatura elevada, o que pode conferir à cerveja características como a cor clara (cerveja *Pilsen*), de tosta (*Munich*), aroma e sabor caramelado ou cor preto/torrado intenso (torrefação). (PIMENTA *et al.*, 2020) A figura 11 demonstra alguns desses aspectos conferidos ao malte e à cerveja de acordo com o tempo e temperatura de secagem.

**Figura 11.** Nível de torra dos grãos e aspecto sensorial.



Fonte: ÖZCAN, 2018.

### 4.3.3. O Lúpulo

O lúpulo é uma planta de zonas temperadas, e suas plantas fêmeas (as flores) são utilizadas no processo de obtenção das cervejas por carregarem com maior intensidade os principais componentes que conferem os aspectos de amargor, aroma e sabor à bebida, isso podendo variar de acordo com as variedades que existem da planta, sendo a planta *Humulus lupulus* mais utilizada no processo de fabricação de cerveja (OLIVEIRA *et al.*, 2022). Pode ser obtida em sua forma *in natura* cônica, mas para produção artesanal ou em grande escala, é mais usual a utilização do lúpulo em pellets, que são colhidos, passa

por processo de secagem, moagem e compressão, visando a facilidade no acondicionamento e custo-benefício em sua utilização. É possível utilizar também a matéria prima em sua forma desidratada (em pó) ou seu extrato líquido. (PIMENTA *et al.*, 2020) Na figura 12 é possível observar o lúpulo em suas formas mais usuais para comercialização.

**Figura 12.** Flor de lúpulo e lúpulo peletizado.



**Fonte:** PEREIRA, 2021.

A substância resinosa presente em maior concentração nas glândulas das flores femininas da planta, denominada lupulina, carregam diversos dos componentes químicos desejáveis para a fabricação de cerveja, como os  $\alpha$ -ácidos (humulonas),  $\beta$ -ácidos (lupulonas) e uma diversidade de óleos essenciais, que conferem também à lupulina propriedades medicinais (DOSTALEK *et al.*, 2017).

Os componentes ativos presentes no lúpulo, quando aquecidos, passam por um processo de transformação, onde os  $\alpha$ -ácidos e  $\beta$ -ácidos, inicialmente não solúveis em meio aquoso, sofrem isomerização e passam a ser solúveis. Os  $\beta$ -ácidos não contribuem de forma tão intensa para o amargor da bebida. Com a elevação da temperatura, ocorre a isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, gerando os iso- $\alpha$ -ácidos, que conferem grande parte do amargor oriundo da matéria prima, além de conferir propriedade antibacteriana ao meio, evitando a ação de microrganismos indesejáveis no processo produtivo, e influenciam na estabilidade da bebida (DOSTALEK *et al.*, 2017).

O lúpulo pode ser classificado como lúpulo de aroma e lúpulo de amargor e, nesse caso, o lúpulo utilizado para atribuir o amargor da bebida é adicionado na etapa de fervura para a obtenção desses químicos, enquanto o lúpulo de aroma são acrescentados mais ao final do processo de aquecimento, uma vez que são voláteis, garantindo então o seu aroma à bebida. (MIZRAHI *et al.*, 2020).

#### 4.3.4. A Levedura

Existem dois principais tipos de leveduras que são utilizadas na fabricação de cerveja, que fazem parte do gênero *Saccharomyces*. Para as cervejas do tipo Ale, de alta fermentação, que ocorre a temperaturas mais elevadas (em torno de 20° C), as cepas de leveduras *S. cerevisiae* são utilizadas (comum também na fabricação de produtos de panificação), e ascendem até a superfície do fermentador, possuindo diferentes linhagens devido à anos de seleção artificial e reaproveitamento nos processos produtivos, enquanto que para as cervejas do tipo Lager, de baixa fermentação, que ocorre a temperaturas mais baixas (por volta de 5 °C – 10 °C), utilizam-se as cepas de leveduras *S. pastorianus*, que depositam-se no fundo do fermentador (ASSIS *et al.*, 2021). Esses fungos possuem a capacidade de metabolizar de forma eficiente os açúcares fermentescíveis presentes no mosto, onde a atividade metabólica dessas leveduras (que ocorre de forma mais lenta nas cervejas do tipo Lager) gera os químicos etanol e dióxido de carbono presentes na cerveja, sendo essa a fermentação alcoólica que ocorre na etapa do processo fermentativo na fabricação da cerveja (NETO *et al.*, 2020).

É importante enfatizar que as diferentes linhagens existentes das leveduras, assim como as condições do processo de fabricação (equipamento, temperatura, pH do mosto) influenciam também nos aspectos sensoriais da cerveja, uma vez que metabólitos secundários também são gerados no processo fermentativo em menor proporção. Como por exemplo, a atenuação (capacidade de conversão dos diferentes açúcares) da cepa utilizada, como a melibiose, açúcar que pode ser metabolizado somente por leveduras de baixa fermentação; a tolerância ao teor de álcool gerado no processo e à contaminações, entre outros fatores que devem ser considerados na escolha do microrganismo. (NETO *et al.*, 2020)

As leveduras podem ser obtidas em solução ou de forma desidratada, sendo a última mais comum em processos artesanais e industriais na fabricação de cerveja. A levedura em sua forma desidratada é usualmente oriunda de processos de liofilização, gerando células bem nutridas e com reservas de forma que facilite a aclimatação no mostro e ocorra a inoculação adequada no meio, além de possuir maior durabilidade, facilidade no transporte e preço mais acessível. (MIZRAHI *et al.*, 2020) Na figura 13 é possível observar leveduras em sua forma liofilizada.

**Figura 13.** Nível de torra dos grãos e aspecto sensorial.



**Fonte:** PEREIRA, 2021.

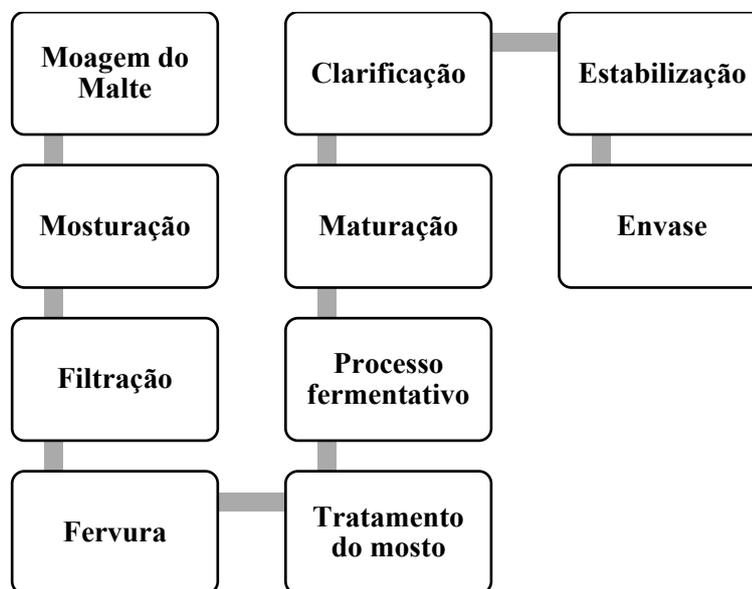
Além dos ingredientes base comuns entre as diferentes cervejas, existem outros ingredientes que valem ser mencionados, e sua adição ao produto depende da finalidade e escala do processo, do tipo de cerveja a ser elaborada, de sua forma de acondicionamento e envase, entre outros fatores, sendo esses os adjuntos cervejeiros. Esses podem ser matérias-primas que atuarão como fontes de carboidratos alternativas, como milho, arroz, trigo, outros produtos de origem vegetal e até mesmo o mel, dentro de sua proporção estabelecida pela legislação. Mas, esses adjuntos podem ser também aditivos ou adjuntos de aroma e sabor, como acidulantes, antioxidantes, estabilizantes e antiespumantes. (BRASIL, 2019)

#### **4.3.5. O Processo Produtivo Das Cervejas Artesanais**

O processo de fabricação da cerveja artesanal está delineado no fluxograma da figura 14, onde é possível observar a ordem das etapas do processo produtivo da cerveja.

Esse processo, apesar de poder diferir em alguns parâmetros e condições de processamento depende do tipo de cerveja a se obter, o procedimento de fabricação, de forma geral, pode ser descrito por essas etapas.

**Figura 14.** Etapas do processo produtivo da cerveja.



**Fonte:** Autoria própria.

#### **4.3.5.1. Moagem do malte**

A primeira etapa para a obtenção do mosto tem como objetivo a redução do tamanho dos grãos da cevada que passaram previamente pelo processo de maltagem, sendo então um processo físico, de forma que esses grãos não sejam triturados por completo e reduzir a pó, mas sim realizar a quebra desses grãos a fim de romper a casca e expor o endosperma, possibilitando dessa forma o melhor contato com o amido ali presente e com suas enzimas ativas. Se a casca for muito fragmentada, inviabiliza sua utilização para posterior filtração do mosto, além de dificultar a permeação no meio, tornando o processo mais devagar. Contudo, é interessante que o endosperma seja bem triturado, para facilitar a atuação das enzimas no amido e melhorar o rendimento do processo. Essa etapa, se não realizada de forma adequada, pode acarretar maior turbidez da cerveja. (PIMENTA *et al.*, 2020)

A etapa de moagem pode ser realizada a seco ou úmida, sendo a primeira mais usual. A idéia de umedecer o malte é flexibilizar as cascas dos grãos para evitar que se estilhacem no equipamento, dependendo também do tipo de moinho do processo. Para

essa etapa, quando realizada em escala industrial, pode ser utilizado moinhos martelo ou moinhos com três ou seis pares de rolos, enquanto na moagem artesanal já é mais usual a utilização de moinhos de um ou dois pares de rolos. Se realizado de forma ideal, é possível a obtenção de uma cerveja mais cristalina. (MIZRAHI *et al.*, 2020)

#### **4.3.5.2. Mosturação ou Brassagem**

Nessa etapa, ocorre a adição da água após a moagem do malte, onde esse meio é submetido a processos de aquecimento por determinados períodos de tempo, a fim de solubilizar o amido no meio e elevar a atividade enzimática, onde as enzimas proteolíticas e amilolíticas promovem a redução das cadeias de carboidrato complexos e proteicas em maltoses, dextrinas, peptídeos e aminoácidos, sendo que os parâmetros de pH do meio e o controle de temperatura também interagem na degradação dessas moléculas. (PIMENTA *et al.*, 2020)

É importante ressaltar que quanto maior a atuação das enzimas nas cadeias de carboidratos, maior a quantidade de açúcares fermentescíveis disponível para o processo fermentativo, e mais leve será o corpo da cerveja. Quanto maior a ação das enzimas proteolíticas, menor a capacidade da cerveja em reter a espuma, contudo, se sua atuação não for conduzida de forma adequada para a obtenção de uma espuma mais consistente, a malha proteica que envolve os grãos de amido pode dificultar a atuação das amilases e reduzir a eficiência do processo (NETO *et al.*, 2020).

Dessa forma, como as enzimas ali presentes possuem diferentes condições ótimas de temperatura e pH para os processos de clivagem, é necessário submeter em intervalos a diferentes temperaturas para garantir maior conversão, sendo que esse controle de temperatura pode ser realizado por infusão, onde todo o mosto é aquecido no mesmo tanque, e a decocção, onde parte do mosto é removido do tanque, aquecido e depois retorna ao mesmo tanque. Esse processo de controle de temperatura pode variar de acordo com o tipo de grão utilizado como adjunto, alterando as proporções dos tipos de enzimas no meio, e visa reduzir a atuação de enzimas indesejáveis no meio, como as fosfatases, que podem levar à redução da capacidade de tamponamento da solução, reduzindo o pH e interferindo no processo fermentativo. (ASSIS *et al.*, 2021)

#### **4.3.5.3. Filtração do mosto**

O objetivo dessa etapa é separar o mosto líquido do bagaço de malte, sendo uma etapa crucial na qualidade final do produto. Sua primeira etapa consiste na filtração da mostura, que ocorre pela atuação da gravidade, onde esse mosto flui pela camada de cascas dos grãos que vai se formando e se depositando no fundo do tanque, retendo os sólidos ali presentes nessa camada formada (torta), e ocorrendo a separação dessas fases. (ASSIS *et al.*, 2021)

O procedimento seguinte consiste em realizar uma série de lavagens nesse bagaço, o quanto for necessário dependendo do volume de produção, utilizando água em torno de 76° C, com a finalidade de extrair o mosto líquido restante nesse bagaço, de forma que essa dissolução dos extratos solúveis é facilitada com a diminuição da viscosidade do mosto, uma vez que a temperatura é elevada, e com isso, tem-se um melhor rendimento do processo. É interessante que a temperatura não seja muito superior a fim de evitar a extração de taninos do bagaço, que pode conferir um sabor adstringente à cerveja. Ao final da filtração, a ideia é que o mosto filtrado possua menor turbidez possível, para que não ocorra precipitação de sólidos restantes e interfira nas etapas seguintes (PIMENTA *et al.*, 2020).

#### **4.3.5.4. Fervura**

A fervura é uma etapa relativamente simples, mas com diversas finalidades. O mosto líquido filtrado é submetido ao aquecimento e fervura em torno de 100° C, que pode ocorrer de 60 a 90 minutos, onde essa temperatura fará com que as enzimas presentes se tornem inativas, além de realizar um processo de esterilização do mosto, uma vez que é um meio favorável para o desenvolvimento microbológico, e por consequência ocorre a diminuição de alguns compostos voláteis indesejáveis em quantidades consideráveis, como o dimetilsulfeto (DMT) e alguns ésteres considerados como compostos *off-flavor*. Também ocorre a desnaturação das proteínas, que precipitam, e a caramelização e reações de *Maillard*, gerando melanoidinas, que agregam cor, sabor e aroma ao meio. (ASSIS *et al.*, 2021)

Esse processo ocorre na tina de fervura com a evaporação da água até atingir a densidade adequada e concentração desejada de sólidos solúveis para o processo. É também nessa etapa que ocorre a adição do lúpulo, onde os lúpulos de sabor são adicionados mais ao início do processo de fervura, para que ocorra a extração de seus componentes solúveis e a transformação de seus ácidos orgânicos (isomerização dos  $\alpha$ -ácidos e oxidação dos  $\beta$ -ácidos) contribuindo com o amargor da bebida, enquanto que os lúpulos de aroma são adicionados mais ao final dessa etapa para agregar ao meio alguns óleos essenciais e outros compostos voláteis da flor, que vão conferir um sabor e aroma característico ao produto. (NETO *et al.*, 2020)

#### ***4.3.5.5. Tratamento - resfriamento e clarificação***

Após a fervura, o mosto deve ser devidamente preparado para a etapa seguinte, o processo fermentativo. O precipitado proteico (denominado trub) gerado na etapa de fervura deve ser removido juntamente com o bagaço de malte, e o procedimento pode ser realizado em whirlpool, onde a força centrípeta e movimentação interna do fluido leva à separação das fases, ou também em tanque de decantação em produções artesanais ou caseiras. (MIZRAHI *et al.*, 2020)

Com isso, o mosto clarificado, que ainda está quente, deve ser resfriado até a temperatura ótima para o processo fermentativo, deixando-o nas condições adequadas para essa etapa. Essa temperatura dependerá se a cerveja a ser produzida será do tipo Ale (em torno de 20 °C) ou Lager (em torno de 10° C). É interessante que esse processo ocorra de forma rápida, no intuito de evitar possíveis reações de oxidação e contaminação microbológica. (MIZRAHI *et al.*, 2020)

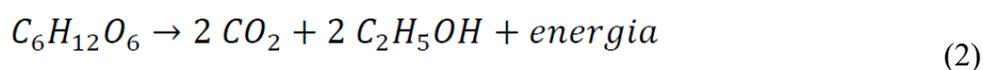
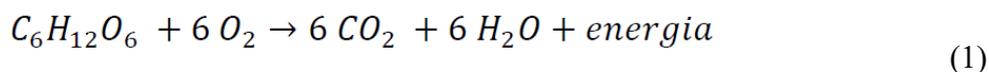
#### ***4.3.5.6. Processo fermentativo - aeração e inoculação, fermentação alcoólica e filtração***

O processo de fermentação alcoólica consiste basicamente na conversão dos açúcares fermentescíveis (maltose, maltotriose, glicose, entre outros) presentes no mosto em álcool etílico e dióxido de carbono. Mas para que essa conversão ocorra de forma eficiente, é importante ter um bom controle das condições do processo nessa etapa, para

que o metabolismo da levedura tenha sua ação adequada no meio. (PIMENTA *et al.*, 2020)

Conforme Mizrahi *et al.* (2020), a levedura *Saccharomyces* é do tipo aeróbio facultativo. Para que seu crescimento e desenvolvimento ocorra de forma adequada, antes de iniciar o processo de inoculação da levedura, o mosto deve ser devidamente aerado, no intuito de dissolver o oxigênio no meio tornando-o disponível para os processos oxidativos realizados pela levedura, além de serem utilizados para a produção de ácidos graxos insaturados e ésteres que compõe sua membrana celular. Esse procedimento pode ser realizado com a injeção de ar estéril ou de oxigênio, sendo que quando realizado à temperaturas mais baixas, a absorção de oxigênio pelo meio pode ser dificultada. Caso a aeração realizada de forma artesanal envolva a movimentação do mosto e contato com o ar ambiente para a incorporação de oxigênio ao meio, é importante ressaltar a cautela necessária para evitar contaminação do meio. (ASSIS *et al.*, 2021)

As equações 1 e 2 demonstram, respectivamente, as principais reações químicas que ocorrem na fermentação alcoólica ao início (via aeróbia) e após (via anaeróbica) determinado tempo de desenvolvimento e atividade das leveduras no meio.



Na fase inicial de crescimento das leveduras elas consomem maior quantidade de oxigênio em seu metabolismo, e geram menor quantidade de etanol, e de ésteres como produto de metabolismo secundário, que agregam sabor à bebida, como representado pela reação da equação 1 na fase aeróbia da fermentação alcoólica, onde ocorre a assimilação de oxigênio e consumo de glicose que geram em maior parte gás carbônico, água e energia. Dessa forma, é comum que a inoculação seja realizada inicialmente somente em uma pequena fração do mosto para esse desenvolvimento inicial e, quando atingir vitalidade e atividade adequada, posteriormente adicionar esse inóculo ao tanque de fermentação. Com a adição do inóculo ao fermentador, a adaptação das leveduras ao meio ocorre num período menor. Após o crescimento da levedura no meio, com a concentração de oxigênio já reduzida, as reações bioquímicas do metabolismo da levedura já resultam em uma elevada produção de álcool etílico, bem como a produção de ésteres, etapa

demonstrada pela equação 2, onde ocorre o consumo da glicose nessa fase anaeróbia do processo fermentativo, gerando álcool etílico, gás carbônico e energia. (NETO *et al.*, 2020)

Para que a fermentação ocorra de forma eficiente e se tenha um maior rendimento de processo e menor custo de produção, além de evitar a produção de metabólitos secundários indesejáveis, é importante estabilizar os parâmetros de processamento, controlando o tempo e temperatura, sendo que para as cervejas de alta fermentação (*Ale*), que ocorre a temperaturas mais elevadas (faixa de 15-25 °C), nas primeiras 36 horas a temperatura fica na faixa de 20-25° C, e após 72 horas diminui-se até 17° C, levando em torno de 3 a 5 dias, sendo que as leveduras tendem a subir para a superfície do mosto ao final do processo, enquanto que nas cervejas de baixa fermentação (*Lager*), o processo é mais demorado, podendo levar de 7 a 10 dias, onde a temperatura nas primeiras horas deve-se manter entre 6-12 °C, e posteriormente elevada para 10-15 °C, sendo que ao final do procedimento a temperatura é reduzida e a levedura passa a decantar. (MIZRAHI *et al.*, 2020)

Alcançando então o teor alcoólico desejado ao produto, e sua carbonatação, deve-se verificar a presença de diacetil no meio, metabólito excretado pela levedura que atribui um aspecto rançoso à cerveja, como um sabor amanteigado. Esse composto está relacionado com os níveis de aminoácidos livres presentes no mosto. Para sua remoção, pode-se adicionar leveduras frescas para a reabsorção e conversão desse componente pelo seu metabolismo ou, elevar de forma ligeira a temperatura do meio para que as leveduras já presentes assimilem esse composto. Ao final do processo, a temperatura é reduzida então, para facilitar a floculação, suspensão ou decantação da levedura, mantendo-a viva, porém inativa, para que possa ser reutilizada posteriormente em outros processos. O final do processo fermentativo pode ser determinado com a medição da densidade da cerveja bruta, uma vez que os químicos gerados nesse processo modificam esse parâmetro no meio. (NETO *et al.*, 2020)

#### **4.3.5.7. Maturação**

A maturação da cerveja pode ser considerada como uma fermentação secundária, realizada em tanques fechados, que ocorre a temperaturas mais baixas, por volta de 0-4

°C, e, por consequência, baixa atividade metabólica das leveduras e por um período maior que a fermentação principal, podendo levar de 1 até 5 semanas, dependendo do tipo de produto, além dessa cerveja bruta já possuir menor quantidade de material fermentescível. (PIMENTA *et al.*, 2020)

Essa etapa, tem como objetivo aperfeiçoar os aspectos sensoriais da bebida, tornando o produto mais palatável, uma vez que nessa etapa, ocorre a formação de ésteres e álcoois superiores, que agregam aroma e sabor; a clarificação da bebida dada pela precipitação de sólidos residuais; a redução de compostos sulfurados como o diacetil (que pode determinar o grau de maturidade do processo), acetaldeído e ácido sulfídrico, que interferem no sabor da cerveja; além da carbonatação e espuma mais estável no meio, mantendo maior quantidade do gás carbônico dissolvido na solução. Para intensificar esses processos de carbonatação e redução de compostos indesejáveis, pode-se adicionar determinada quantidade de açúcares próximo ao final da maturação do produto (*priming*), acionando a atividade metabólica de leveduras residuais para essa finalidade. (NETO *et al.*, 2020)

#### **4.3.5.8. Clarificação**

Essa etapa dá início ao acabamento do produto, a qual é realizada através da filtração da cerveja após sua maturação, no intuito de remover as partículas coloidais presentes na solução e a levedura residual, a fim de se obter uma cerveja com aspecto mais cristalino e límpida, com baixa turbidez e mantendo sua estabilidade físico-química, garantindo um aspecto visual mais atraente à cerveja. (ASSIS *et al.*, 2021)

#### **4.3.5.9. Estabilização**

Aqui, deve-se garantir a estabilidade final do produto quanto ao que envolve suas condições microbiológicas e físico-químicas, para garantir uma padronização em seu sabor e aroma mesmo após envase e acondicionamento. Logo, a cerveja pode ser submetida a um processo de microfiltração ou pasteurização, sendo a última mais usual no mercado e em processos artesanais, além de possuir melhor custo-benefício. (ASSIS *et al.*, 2021)

A pasteurização consiste na elevação da temperatura da cerveja em até 75 °C durante alguns segundos visando a eliminação de microrganismos presentes no meio, que podem produzir metabólitos como o ácido lático, elevando a acidez final do produto. O tempo e temperatura podem variar de acordo com cada processo (MIZRAHI *et al.*, 2020). Deve-se atentar também ao teor de oxigênio disponível e dióxido de enxofre (composto sulfurado gerado durante o processo fermentativo), que pode desencadear processos oxidativos nos compostos da cerveja, e quando em forma de íon, o segundo componente reage com o oxigênio e aldeídos presentes na cerveja, removendo-os do meio. Logo, a estabilização físico-química pode ser alcançada com a adição de aditivos para aumentar o potencial antioxidante no meio. (NETO *et al.*, 2020)

#### **4.3.5.10. Envase**

Por fim, nessa etapa, o produto é envasado em embalagens que podem ser compostas de diferentes materiais, como latas de alumínio, garrafas de vidro, barris, o que vai depender de diversos fatores como a forma de acondicionamento, transporte, características do tipo da cerveja, forma de comercialização e da quantidade e forma de consumo do produto. É importante mencionar que, caso o produto não tenha atingido o nível de carbonatação desejada antes de seu envase, pode-se utilizar de métodos físicos para intensificar a dissolução de gás presente na cerveja. (MIZRAHI *et al.*, 2020)

É importante enfatizar que, tanto algumas etapas do processo produtivo das diversas cervejarias artesanais, quanto a variedade das matérias primas e insumos utilizados em sua elaboração, podem variar de uma cervejaria para outra, ainda que o tipo de cerveja a ser produzida seja a mesma. Dessa forma, com a difusão no consumo de cervejas específicas (com ampla diversidade em seus aspectos sensoriais) por parte dos consumidores de cervejas, e com o estímulo do mercado para a utilização e aproveitamento dos diferentes ingredientes regionais, as cervejas artesanais tendem a possuir uma vasta gama de compostos químicos que, além de atribuírem ao produto essa amplitude existente no paladar, essas substâncias também conferem ao produto final um determinado potencial antioxidante e por consequência um efeito benéfico à saúde do consumidor. (OLIVEIRA *et al.*, 2022)

#### 4.4. COMPOSTOS BIOATIVOS: A DIVERSIDADE FITOQUÍMICA NOS ALIMENTOS E PRESENÇA DE ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

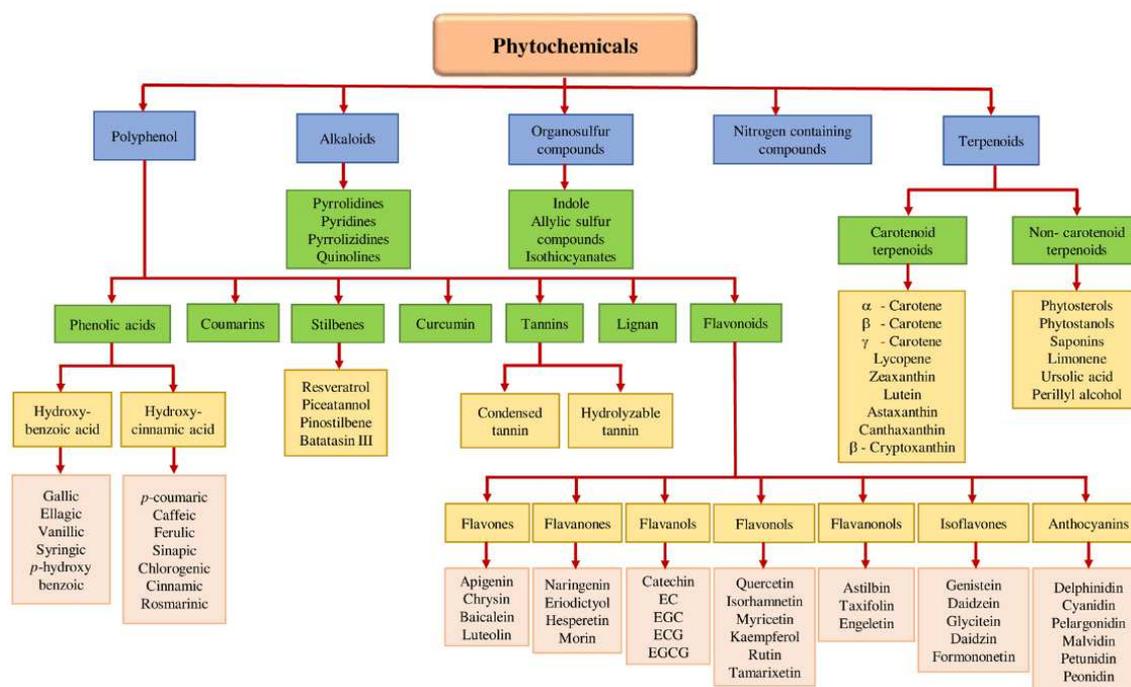
Os compostos bioativos são metabólitos secundários que, de acordo com Chemjong *et al.* (2012), estão amplamente distribuídos pela natureza, e presentes em diversos tipos de alimentos, principalmente de origem vegetal. Esses componentes químicos, além de poderem agregar sabor, aroma e cor, exercem uma função antioxidante no meio presente, de forma que conferem ao organismo em que estão contidos, uma proteção metabólica, contra uma série de reações oxidativas que podem ocorrer na natureza. Esses compostos exercem então uma atividade biológica e, sendo devidamente conservados, podem ser absorvidos pelo organismo do ser humano e, assim, conferir diversas propriedades nutricionais e benéficas à saúde.

Nos alimentos, os compostos fitoquímicos, que são os bioativos presentes nas matrizes vegetais, são os nutrientes que se encontram em menor quantidade porém em maior diversidade quando comparados aos macronutrientes e micronutrientes dos alimentos (água, carboidratos, lipídios, proteínas, vitaminas e minerais), e apesar de sua menor biodisponibilidade dada sua complexidade da estrutura molecular, vão muito além de uma nutrição considerada básica, uma vez que o potencial antioxidante conferido por essas substâncias exerce um impacto em nossa qualidade de vida, atuando de diferentes formas em nossas reações metabólicas. Esses compostos estão presentes em suas diversas formas, distribuídos amplamente pelos alimentos, frutas, vegetais, ervas, especiarias e outros produtos utilizados em preparos alimentícios, que agem de forma específica tanto a nível fisiológico quanto celular, e se enquadram então em diferentes categorias, podendo possuir certa similaridade nesse agrupamento baseado até mesmo na coloração da matriz vegetal. (WALIA *et al.*, 2019)

Assim, esses fitoquímicos podem ser classificados, segundo Santhiravel *et al.* (2022), em terpenoides, fenólicos, alcaloides, compostos organosulfurados e compostos contendo nitrogênio, sendo o grupo de compostos fenólicos presentes em maior quantidade e diversidade em matrizes vegetais, com ênfase no subgrupo dos flavonoides, que representam boa parte dos fitoquímicos presentes em alimentos.

A figura 15 demonstra os grandes grupos em que se dividem os diversos compostos fitoquímicos existentes das fontes alimentares.

**Figura 15.** Os compostos fitoquímicos e suas classificações.



Fonte: SANTHIRAVEL, 2022.

Essas substâncias podem ser encontradas em inúmeras fontes vegetais, da ordem de milhares compostos existentes, cada um com sua especificidade no que envolve a sua estrutura química e conformação de suas moléculas, assim como sua atividade biológica e potencial antioxidante e por consequência seu determinado efeito benéfico na saúde, assim sendo divididos em grandes grupos e subgrupos baseados em sua estrutura molecular. (TEODORO *et al.*, 2019)

#### 4.4.1. Compostos Fenólicos

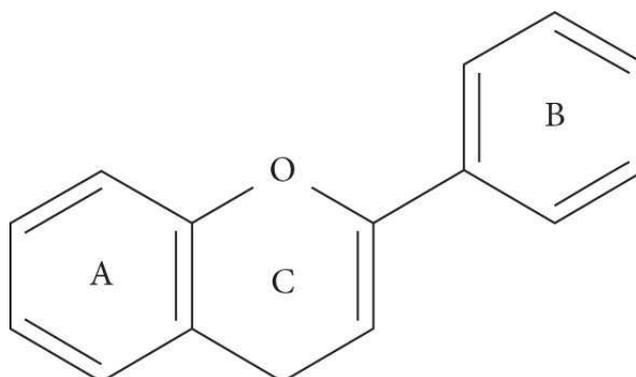
De acordo com Santhiravel *et al.* (2022), esse grupo que engloba os Ácidos fenólicos, Cumarinas, Curcumina, Estilbenos, Taninos, Lignanas e Flavonoides, e possuem em sua estrutura química em comum um ou mais grupamentos hidroxila ligados à um átomo de carbono de um anel aromático (ligações duplas conjugadas). Os ácidos

fenólicos possuem em sua estrutura um grupamento de ácido carboxílico, sendo classificados em ácido hidroxicinâmico e ácido hidroxibenzoico. Os Taninos são misturas complexas de polifenóis poliméricos, contendo o ácido gálico como base na unidade molecular, sendo divididos em hidrolisáveis e condensados, podendo conferir adstringência e podem se ligar a proteínas e outros compostos orgânicos levando à precipitação.

Os Flavonoides são os constituintes desse grupo que se encontram em maior abundância em alimentos como frutas e vegetais representando boa parte dos fenólicos, e englobam as antocianinas (hidrossolúveis), responsáveis pela coloração azulada, roxa ou até avermelhada em alguns alimentos. A estrutura química dos flavonoides possui como base um esqueleto da molécula difenilpropano, contendo 2 anéis de benzeno ligados por um pirano (anel heterocíclico contendo oxigênio como heteroátomo) (CHEMJONG *et al.*, 2012).

A figura 16 demonstra esse componente molecular base dos flavonoides.

**Figura 16.** Esqueleto da molécula Difenilpropano.



**Fonte:** CHEMJONG, 2012.

#### 4.4.2. Terpenoides

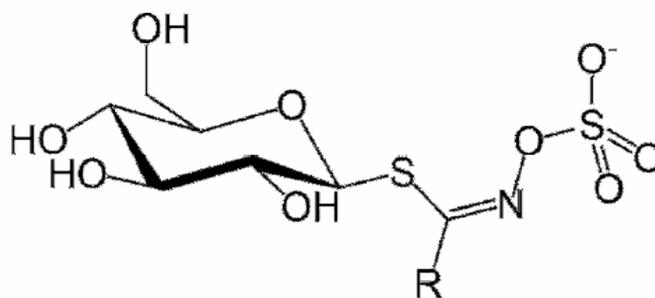
Segundo Walia *et al.* (2019), os terpenos se dividem em carotenoides e não-carotenoides, e possuem em geral em sua estrutura a unidade molecular 2-Metilbutano, contendo subunidades do constituinte molecular isopreno. Os carotenoides são substâncias tetraterpênicas e lipossolúveis, podendo se apresentar em suas formas de caroteno (hidrocarbonetos) ou xantofilas (presença de oxigênio) e estão presentes em fontes de origem animal e vegetal, em quantidade abundante em grupos de alimentos de

coloração amarelada, alaranjada ou até avermelhada, dada a característica da pigmentação desses compostos presentes em suas diferentes formas nos determinados alimentos. Os terpenos não-carotenoides são em sua maior parte fitoesteróis associados de forma similar com a molécula de colesterol. (TEODORO *et al.*, 2019)

#### 4.4.3. Compostos organossulfurados e nitrogenados

Os compostos organossulfurados são moléculas orgânicas que contêm em sua estrutura átomos de enxofre, usualmente ligadas de forma covalente com carbono. Fazem parte dos tióis e englobam os glicosinolatos (ou tioglicosídeos), derivados de glicose e aminoácido, muito presentes em vegetais crucíferos e folhagens de coloração verde, e são uma classe de compostos que possuem em sua estrutura química átomos de nitrogênio e enxofre, estrutura que pode ser observada na figura 17. (CHEMJONG *et al.*, 2012)

**Figura 17.** Estrutura do glicosinolato.



**Fonte:** CHEMJONG, 2012.

Os compostos nitrogenados englobam as betalaínas como bioativos que possuem nitrogênio em sua estrutura química, pigmentos derivados de indol (composto nitrogenado orgânico aromático) e ácido betalâmico, que são hidrossolúveis e podem conferir coloração amarelada ou avermelhada ao meio presentes. (WALIA *et al.*, 2019)

Os diferentes grupos e subgrupos dos compostos fitoquímicos mencionados possuem uma similaridade no que envolve a sua estrutura química e função biológica em determinados organismos, sendo que suas estruturas moleculares podem determinar características como sua capacidade nutricional, aromas específicos, volatilidade,

aspectos sensoriais e, além disso, conferir um potencial antioxidante à essas moléculas orgânicas, sendo que cada grupo e conformação molecular pode agir através de um mecanismo metabólico específico que, de forma geral, criam uma defesa natural ao meio e então agregam inúmeras propriedades farmacológicas e benéficas ao organismo. (OLIVEIRA *et al.*, 2020)

#### **4.4.4. Atividade antioxidante e relação com a saúde**

A formação de espécies reativas de oxigênio, dada pela perda ou ganho de um elétron, podem desencadear diversas reações degenerativas no meio, uma vez que esse processo pode implicar na geração de radicais livres, que são uma espécie química que pode ser altamente reativa pela presença de um ou mais elétrons desemparelhados, podendo danificar qualquer biomolécula presente no sistema, e os sistemas biológicos estão suscetíveis a sofrerem esse tipo de reação. Esses radicais livres podem ser gerados fisiologicamente pelo metabolismo de sistemas biológicos de forma exógena ou a partir de compostos endógenos. (AMBRA *et al.*, 2021)

Dependendo de fatores que envolvem a proteção biológica do meio, se as condições desse sistema forem pró-oxidante, segundo De Francesco *et al.* (2020), a quantidade de radicais livres tende a aumentar de forma que ocorra um desequilíbrio entre os componentes oxidativos e os antioxidantes, e isso pode induzir à danos celulares e gerar estresse oxidativo, podendo, por exemplo, acelerar o envelhecimento celular. De acordo com Walia *et al.* (2019), esses danos oxidativos recorrentes no metabolismo têm sido relacionados com a etiologia de diversos problemas de saúde, como problemas pulmonares, cardiopatias, processos de mutagênese e carcinogênese, aterosclerose, e diversos processos inflamatórios em geral, que são intensificados frente à exposição do organismo à condições oxidantes, como alimentação inadequada, radiações gama e ultravioleta, tabagismo, alcoolismo, gás ozônio, ou nossa própria respiração aeróbica associada à poluição do ar, que é um fator endógeno que é considerada fonte de geração de radicais livres.

Dessa forma, as células das plantas, dos alimentos de origem vegetal e animal que são consumidos na dieta do ser humano, assim como o nosso próprio organismo, estão passíveis de sofrerem reações que podem gerar esses radicais livres, assim como os demais organismos vivos, e a formação desses compostos reativos podem implicar em

diversas doenças e enfermidades agindo por diferentes mecanismos (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Logo, faz-se necessário a presença de agentes antioxidantes que atuam na contramão desses mecanismos e assim dos danos gerados pelos radicais livres, protegendo assim o organismo a nível fisiológico e celular. A presença de compostos antioxidantes nos alimentos de origem vegetal e animal pode ser considerada como um mecanismo natural de proteção contra esse tipo de dano. Segundo Ambra *et al.* (2021), esses compostos atuam por diferentes meios, seja pela eliminação dos radicais livres, quelatação de íons metálicos, inibição de enzimas pró-oxidativas, dentre outros mecanismos de proteção.

Esses agentes antioxidantes podem ser classificados em enzimáticos e não-enzimáticos (oriundos da dieta). Algumas vitaminas e minerais que são consideradas antioxidantes, assim como os flavonoides e carotenoides, se encontram dentro dos não-enzimáticos, e são considerados como mecanismo de defesa, impedindo a formação desses componentes reativos sendo oxidados ou gerando outro composto não reativo, inibindo reações em cadeia, e interceptando esses radicais livres gerados pelo metabolismo, protegendo o ataque sobre os componentes lipídicos, os aminoácidos das proteínas, a ligação dupla dos ácidos graxos insaturados e até do material genético, evitando lesões e perda da integridade celular. (NETO *et al.*, 2020)

Dessa forma, esses micronutrientes, assim como grande parte dos compostos fitoquímicos que atuam como antioxidantes tanto em meio lipofílico (como a vitamina A,  $\alpha$ -tocoferol,  $\beta$ -caroteno) quanto hidrofílico (como a vitamina C, indols), por sua capacidade de sequestrarem os radicais livres, são considerados importantes na dieta para atuarem como um mecanismo de proteção eficiente e influenciar de forma benéfica na saúde geral do indivíduo, reduzindo o estresse oxidativo que ocorre no organismo (AMBRA, 2021). A tabela da figura 18 relaciona alguns grupos dos compostos orgânicos comuns encontrados em determinados alimentos com o seu efeito na saúde do consumidor, que está relacionado com o mecanismo antioxidante desses químicos e sua atuação no metabolismo.

**Figura 18.** Grupos de compostos bioativos, fonte alimentar e efeito no organismo.

Composto ativo	Efeito	Fonte
<b>Terpenóides</b>		
Carotenóides	Atividade antioxidante e anticancerígena (útero, próstata, seio, cólon, reto e pulmão)	Frutas (melancia, mamão, melão, damasco, pêssego), verduras (cenoura, espinafre, abóbora, brócolis, tomate, inhame, nabo)
Fitoesteróis	Redução dos níveis de colesterol total e LDL-colesterol	Óleos vegetais, sementes, nozes, algumas frutas e vegetais
Glucosinolatos	Detoxificação do fígado, atividade anticancerígena e antimutagênica	Brócolis, couve-flor, repolho, rabanete, palmito e alcaparra
<b>Fenólicos</b>		
Ácido fenólico	Atividade antioxidante	Frutas (uva, morango, frutas cítricas), vegetais (brócolis, repolho, cenoura, berinjela, salsa, pimenta, tomate, agrião), chá
Flavonóides	Atividades antioxidante, redução do risco de câncer e de doença cardiovascular	Frutas cítricas, brócolis, couve, tomate, berinjela, soja, abóbora, salsa, nozes, cereja
Isoflavonas	Inibição do acúmulo de estrogênio, redução das enzimas carcinogênicas	Leguminosas (principalmente soja), legumes
Catequinas	Atividade antioxidante, redução do risco de doença cardiovascular	Uva, vinho tinto, morango, chá verde, chá preto, cacau
Antocianinas	Atividade antioxidante, proteção contra mutagênese	Frutas (amora, framboesa)
<b>Ácidos graxos <math>\omega</math>3 e <math>\omega</math>6</b>		
	Redução do risco de câncer e de doenças cardiovasculares, redução da pressão arterial	Peixes de água fria, óleo de canola, linhaça e nozes
<b>Oligossacarídeos</b> <b>Polissacarídeos</b>		
	Redução do risco de câncer e dos níveis de colesterol	Frutas, verduras, leguminosas, cereais, integrais
<b>Prebióticos</b>	Regulação do trânsito intestinal e da pressão arterial, redução do risco de câncer e dos níveis de colesterol total e triglicérides, redução da intolerância à lactose	Raiz de chicória, cebola, alho, tomate, aspargo, alcachofra, banana, cevada, cerveja, centeio, aveia, trigo, mel
<b>Probióticos</b>	Regulação do trânsito intestinal, redução do risco de câncer e dos níveis de colesterol total e triglicérides, estímulo ao sistema imunológico	Iogurte, leite fermentado

**Fonte:** CHEMJONG, 2012.

Assim, se torna evidente a importância de consumir alimentos e ingredientes considerados funcionais e a utilização de matérias-primas consideradas fontes desses micronutrientes e compostos fitoquímicos como um incentivo na elaboração de produtos alimentícios que são amplamente consumidos, como a indústria de bebidas, que é capaz de possuir formulação bem diversificada em seus produtos fabricados.

#### 4.5. A PRESENÇA DOS FITOQUÍMICOS NAS CERVEJAS ARTESANAIS E SEU IMPACTO NA SAÚDE

No processo de elaboração das cervejas artesanais, são utilizados como ingredientes base, comum entre todas as cervejas, matérias primas de origem vegetal, como o lúpulo e a cevada, que possuem então em sua estrutura orgânica um série de substâncias bioativas, principalmente os compostos fitoquímicos, que, de acordo com OZCAN *et al.* (2018), podem ser extraídos, solubilizados ou gerados ao longo do processo produtivo dessas cervejas, e possuem boa biodisponibilidade, sendo que parte desses compostos bioativos também são oriundos do metabolismo da levedura na etapa do processo fermentativo. A maior parte dos fitoquímicos presentes nas cervejas são do grupo dos compostos fenólicos, que, juntamente com as melanoidinas formadas ao longo do processo produtivo pela reação de *Maillard*, e alguns dos minerais oriundos dos ingredientes, segundo Neto *et al.* (2020), determinam os principais agentes antioxidantes nas cervejas, além de aditivos que podem ser adicionados com essa função, como a vitamina C. O teor desses fitoquímicos variam dependendo do tipo de cerveja a ser elaborada.

A tabela da figura 19 lista uma série dos compostos fitoquímicos encontrados por Nardini *et al.* (2020) em determinados tipos de cervejas especiais, juntamente de seu teor, determinados pelo método de análise HPLC-DAD, que podem representar grande parte dos fitoquímicos presentes nas diferentes cervejas artesanais.

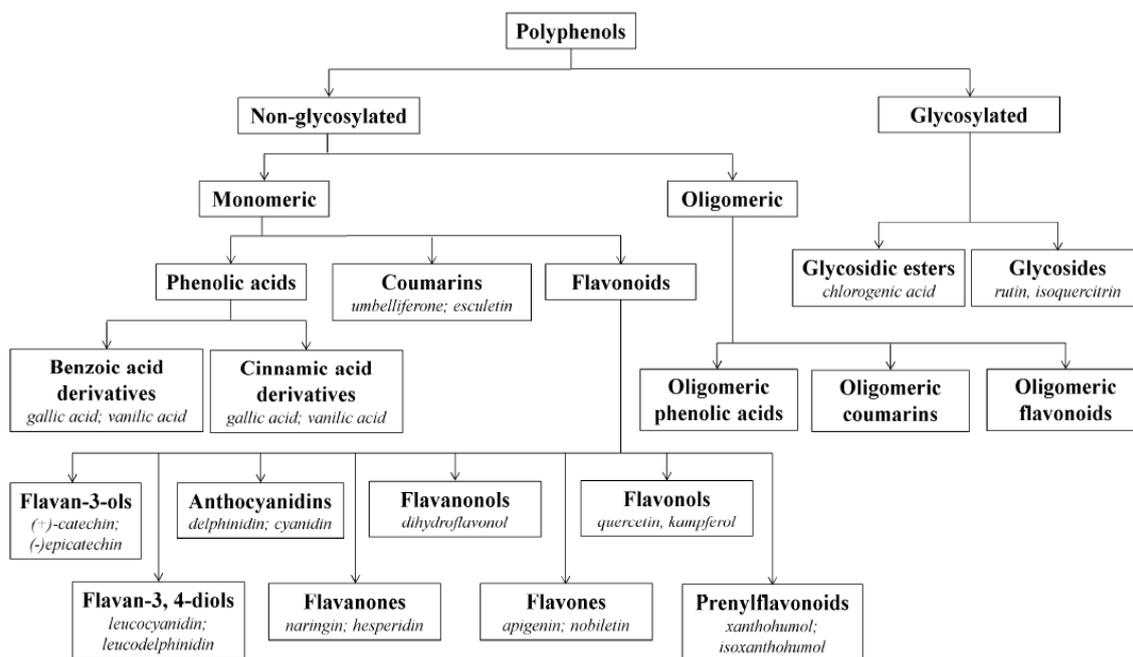
**Figura 19.** Grupos e teor de compostos fitoquímicos (mg/L) presentes em cervejas artesanais elaboradas com: nozes (*WALN*); castanha (*CHES*); chá verde (*GTEA*); café (*COFF*); cacau (*COCO*); mel (*HONE*); alcaçuz (*LIQU*).

Beer Code	WALN	CHES	GTEA	COFF	COCO	HONE	LIQU
<b>Phenolic Acids:</b>							
<b>Chlorogenic</b>	tr	nd	nd	1.56 ± 0.10	nd	nd	nd
<b>Vanillic</b>							
Free	0.92 ± 0.12	1.57 ± 0.03	0.87 ± 0.04	0.78 ± 0.03	1.14 ± 0.09	0.80 ± 0.05	1.03 ± 0.10
Total	2.16 ± 0.26	5.09 ± 0.06	2.82 ± 0.15	2.03 ± 0.14	3.39 ± 0.17	3.09 ± 0.22	2.32 ± 0.11
<b>Caffeic</b>							
Free	0.52 ± 0.01	0.24 ± 0.01	tr	0.57 ± 0.02	0.50 ± 0.02	tr	0.56 ± 0.07
Total	3.16 ± 0.15	3.47 ± 0.03	1.48 ± 0.18	9.20 ± 0.21	3.69 ± 0.01	2.37 ± 0.17	3.71 ± 0.04
<b>Syringic</b>							
Free	tr	0.40 ± 0.03	0.62 ± 0.02	tr	0.54 ± 0.02	0.27 ± 0.01	0.40 ± 0.03
Total	tr	1.24 ± 0.05	0.96 ± 0.04	tr	1.42 ± 0.05	1.24 ± 0.10	0.67 ± 0.03
<b>p-Coumaric</b>							
Free	0.68 ± 0.01	1.02 ± 0.06	0.11 ± 0.01	0.36 ± 0.02	1.38 ± 0.08	0.21 ± 0.01	1.06 ± 0.06
Total	4.32 ± 0.24	3.36 ± 0.07	2.24 ± 0.16	1.93 ± 0.08	3.26 ± 0.13	1.75 ± 0.03	2.95 ± 0.14
<b>Ferulic</b>							
Free	1.05 ± 0.02	1.81 ± 0.20	0.15 ± 0.01	0.63 ± 0.02	1.16 ± 0.03	0.43 ± 0.01	1.32 ± 0.08
Total	8.22 ± 0.17	27.55 ± 0.43	14.30 ± 0.40	20.50 ± 0.64	22.10 ± 0.73	19.20 ± 0.33	20.63 ± 0.87
<b>Sinapic</b>							
Free	0.45 ± 0.01	0.97 ± 0.12	0.49 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.44 ± 0.01	0.55 ± 0.01	1.03 ± 0.04
Total	2.68 ± 0.06	4.74 ± 0.04	4.48 ± 0.08	2.52 ± 0.02	4.89 ± 0.05	6.73 ± 0.03	6.66 ± 0.07
<b>Totalphenolic Acids #</b>	20.54 ± 0.88	45.45 ± 0.68	26.28 ± 1.01	36.18 ± 1.09	38.75 ± 1.14	34.38 ± 0.88	36.94 ± 1.26
<b>Flavonoids:</b>							
<b>Catechin</b>	tr	4.65 ± 0.13	2.98 ± 0.09	tr	4.58 ± 0.02	tr	tr
<b>Epicatechin</b>	1.80 ± 0.11	3.68 ± 0.12	3.09 ± 0.05	1.30 ± 0.07	1.83 ± 0.11	0.94 ± 0.05	tr
<b>Rutin</b>	nd	nd	0.68 ± 0.02	nd	nd	1.29 ± 0.02	0.92 ± 0.10
<b>Myricetin</b>	4.44 ± 0.27	tr	1.69 ± 0.05	0.39 ± 0.03	0.65 ± 0.02	2.67 ± 0.18	8.82 ± 0.07
<b>Quercetin</b>	6.55 ± 0.31	tr	1.17 ± 0.09	0.54 ± 0.02	1.52 ± 0.06	4.67 ± 0.23	2.63 ± 0.15
<b>Stilbenes:</b>							
<b>Resveratrol</b>	0.26 ± 0.20	0.35 ± 0.02	0.32 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.20 ± 0.01

Fonte: NARDINI, 2020.

#### 4.5.1. Lúpulo

Marques *et al.* (2017) evidenciam que os fitoquímicos oriundos do lúpulo podem representar em torno de 30 a 40% dos fenólicos presentes nas cervejas. Martinez-Gomez *et al.* (2020) também relatam em seu estudo uma série de compostos fenólicos do lúpulo encontrar na cerveja. Esses polifenóis podem ser divididos entre glicosilados e em sua maior parte os não-glicosilados, em formas monoméricas ou oligoméricas. Segundo Dostalek *et al.* (2017, dentre esses componentes, encontram-se uma série de taninos, ácidos orgânicos, em abundância os ácidos gálico e vanílico, cumarinas, como umbeliferona e aesculetina, e diversos flavonoides, como catequina e epicatequina, antocianidinas. quercetina, kaempferol, hesperidina, xanthohumol e isoxanthohumol, dentre outros fitoquímicos oriundos do lúpulo. A figura 20 mostra os principais fitoquímicos encontrados dentro de cada subgrupo dos polifenóis oriundos do lúpulo.

**Figura 20.** Os principais componentes fitoquímicos do lúpulo.

Fonte: DOSTALEK, 2017.

Esses fitoquímicos agregam à cerveja parte do seu potencial antioxidante e estão relacionados a alguns benefícios à saúde, sendo que a atividade desses compostos no metabolismo possui atuação na diminuição do índice glicêmico, redução dos níveis de gorduras saturadas e colesterol, e regulação dos níveis de insulina no metabolismo. Alguns desses fitoquímicos podem ser comuns de outros alimentos consumidos na dieta, contudo, o xanthohumol e determinadas chalconas preniladas são obtidas somente do lúpulo. (DOSTALEK et al., 2017)

De acordo com Oliveira *et al.* (2020), catequina, epicatequina, quercetina e rutina demonstraram a capacidade de aumentar e regular a secreção de insulina no organismo a partir da ativação ou inibição de enzimas envolvidas nos processos metabólicos, onde alguns flavonoides impulsionam a produção de incretina, hormônio relacionado com o controle da secreção de insulina no organismo. Esses flavonoides em especial, assim como o xanthohumol, são então considerados benéficos para pacientes com enfermidades como diabetes, dada sua capacidade de melhorar o perfil lipídico e nível glicêmico desses indivíduos.

Os flavonóides do lúpulo, segundo Martinez-Gomez *et al.* (2020), estão relacionados também com a regulação (diminuição) de mediadores inflamatórios que

estão associados à enfermidades como aterosclerose. A ação antioxidante desses fitoquímicos, que pela presença de anéis aromáticos e grupamentos hidroxila, que proporcionam sua capacidade de se ligar ou neutralizar um radical livre, agregam também propriedades antitumorais a esse conjunto de substâncias.

#### 4.5.2. Cevada

A cevada, cereal mais comum utilizado como fonte de carboidratos no preparo da elaboração de cervejas artesanais, também é uma das principais fontes (70-80%) de seus compostos bioativos, além de outros macros e micronutrientes fornecidos por esse ingrediente que também possuem impacto no valor nutricional do produto e por consequência no benefício à saúde do consumidor. (MARQUES *et al.*, 2017)

Segundo Idehen *et al.* (2016), os principais fitoquímicos desse cereal incluem ácidos fenólicos, flavonoides, lignanas e fitoesteróis. Os fenólicos da cevada podem auxiliar na defesa natural do organismo contra microrganismos patogênicos e parasitas. Os fitoesteróis, associados à presença de tocoferol no organismo, estão relacionados com a proteção contra transtornos neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer, e na assimilação de toxinas (OLIVEIRA *et al.*, 2022). Os fitoquímicos da cevada, em comparação com outros cereais que podem ser utilizados (como trigo, aveia, centeio e arroz), possuem vantagem no que envolve tanto o conteúdo quanto a diversidade dessas substâncias, além de também possuírem certa especificidade em seus efeitos benéficos à saúde em comparação aos bioativos dos demais cereais (MARQUES *et al.*, 2017). Vale ressaltar que o conteúdo fitoquímico, tanto da cevada quanto do lúpulo, pode variar de acordo com sua variedade.

De acordo com Idehen (2016) e Martinez-Gomez (2020), dentre os principais fitoquímicos oriundos da cevada, temos: os ácidos benzoicos e cinâmicos, que agrupam o ácido ferúlico, vanílico, siríngico e p-cumárico; os flavonóides, em especial os flavanóis miricetina, quercetina e kaempferol, uma série de antocianinas e proantocianidina; algumas lignanas, como hidroximatairesinol, siringaresinol, lariciresinol e todolactol, que estão associadas à propriedades antimicrobianas, antitumorais e à prevenção de doenças arteriais coronarianas; tocoferol e tocotrienol, que estão relacionados à prevenção de doenças neurodegenerativas; alguns fitoesteróis, em maior abundância o

sitosterol e campesterol, que estão associados à redução dos níveis de colesterol, à prevenção do câncer de cólon e de doenças cardiovasculares; e alguns folatos, como o 5-metiltetrahidrofolato e 10-metilenotetrahidrofolato em maior abundância, associadas à redução de homocisteína, auxiliando na prevenção de patologias cerebrais e cardiovasculares.

Santhiravel *et al.* (2022) relata também diversos benefícios associados ao consumo desses fitoquímicos como um fator que contribui para uma composição mais saudável da microbiota intestinal do ser humano, uma vez que esses componentes atuam de forma sinérgica no metabolismo e no organismo como um todo, implicando na seleção de microrganismos considerados benéficos nesses processos fisiológicos como a digestão, impactando de forma direta na saúde geral do indivíduo.

A conservação desses fitoquímicos ao longo do processo produtivo deve ser levada em consideração, uma vez que sua estabilidade frente as diversas condições das quais os ingredientes cervejeiros são submetidos influenciam em seu conteúdo no produto final, principalmente os parâmetros físico-químicos como pH do meio e a temperatura, tanto que a presença desses componentes no produto final podem ser utilizados como um parâmetro de qualidade da cerveja, uma vez que os compostos fenólicos influenciam não só no que envolve os seus aspectos farmacológicos e benéficos na saúde mas também na estabilidade do sabor e aroma da cerveja (MARGON *et al.*, 2016).

As etapas de maltagem da cevada, fervura do lúpulo, estabilização e a filtração em alguns casos, podem possuir influência negativa na quantidade dos fitoquímicos da cerveja. Segundo Margon *et al.* (2016), temperaturas elevadas podem induzir a degradação parcial de alguns compostos fitoquímicos, como a degradação de alguns ácidos fenólicos ou induzir à polimerização como ocorre com as proantocianidinas. A figura 21 mostra uma relação do conteúdo de alguns dos principais fitoquímicos da cerveja nas etapas de lupulagem, ao final da etapa do processo fermentativo e após algumas semanas de maturação do produto, determinado por Mikyska *et al.* (2020), evidenciando uma redução parcial no teor desses componentes fitoquímicos ao longo dessas etapas.

**Figura 21.** Conteúdo fitoquímico ( $\mu\text{g/L}$ ) do mosto na lupulagem (*HW*) e pós-fermentação (*GB*), e da cerveja após duas (*2W*) e três (*3W*) semanas de maturação.

	L2_HW	L2_GB	L2_2W	L2_3W
Total Polyphenols (mg/l)	225	203	183	173
Flavanols ( $\mu\text{g/l}$ )				
Catechin	1899	1560	950	982
Epicatechin	331	245	231	184
Catechin-O-glucoside	517	381	417	377
Epicatechin-O-glucoside	133	125	123	99
Flavonols ( $\mu\text{g/l}$ )				
Myricetin	60	60	77	77
Quercetin	32	41	40	24
Kaempferol	6	11	9	1
Rutin	101	116	134	91
Quercetin-O-glucoside 1	46	41	33	30
Quercetin-O-glucoside 2	393	340	377	282
Kaempferol-O-glucoside	215	185	203	150
Myricetin-O-glucoside	64	64	85	83
Multifidol-O-glucoside	101	89	105	79
Quercetin-O-malonylglucoside	78	97	87	68
Prenylflavonoids ( $\mu\text{g/l}$ )				
Isoxanthohumol	936	764	557	443
Xanthohumol	337	228	30	17
8-prenylnaringenin	115	79	21	13
6-prenylnaringenin	385	339	94	57

*HW* – Hopped Wort (mosto lupulado); *GB* – Green Beer (cerveja verde); *W* – Weeks (semanas)

**Fonte:** MIKYSKA, 2019.

É notável que, ainda que ocorra a degradação de uma fração desses compostos bioativos ao longo de algumas etapas do processo produtivo, eles ainda estão presentes no produto em quantidade considerável, de forma que o organismo possa usufruir de seus benefícios. (MIKYSKA *et al.*, 2020)

É possível dizer que existe então uma relação entre o consumo de cervejas artesanais e a saúde do consumidor, sendo que, se o consumo desse tipo de produto for realizado de forma moderada, o consumidor pode usufruir desses benefícios proporcionados por essas substâncias fitoquímicas presentes nessas cervejas, além dos benefícios proporcionados pelos demais nutrientes ali presentes. (MARCOS *et al.*, 2020) Alguns estudos presentes na literatura, como mencionado por Marcos *et al.* (2020), indicam que a mortalidade de pessoas que ingerem determinada quantidade diária de cerveja, em até 300mL, é menor do que em indivíduos que não consomem a bebida ou que excedem essa quantidade.

### **4.5.3. A diversidade fitoquímica na elaboração de cervejas especiais e relação com a saúde**

Em virtude da globalização ao que tange as cervejas artesanais, a utilização de ingredientes regionais assim como o apelo constante voltado ao consumo de produtos com maior riqueza nutricional tem sido cada vez mais difundido entre os consumidores, sendo assim um estímulo para a elaboração de cervejas artesanais com sabores e aromas diferenciados e na criação de uma identidade específica para cada produto, além de agregar valor. (MIZRAHI, 2020)

Além dos diversos compostos fitoquímicos obtidos dos ingredientes básicos na elaboração das cervejas artesanais, diversos estudos evidenciam a presença de fenólicos ou a capacidade antioxidante elevada, determinadas a partir de métodos convencionais (como DPPH e reagente Folin-Calteau), em cervejas especiais elaboradas com ingredientes adicionais que incorporam à cerveja um sabor e aroma característico, além de agregar vantagens nutricionais ao produto, sendo esses ingredientes em sua maior parte frutos, adjuntos utilizados como fonte de carboidratos fermentescíveis, além de especiarias, ervas, condimentos e outras matérias primas ricas nesses componentes bioativos. (BORSA *et al.*, 2022)

Ribeiro *et al.* (2020) estudou a utilização de mel e gengibre como adjunto na elaboração de cerveja artesanal, evidenciando um aumento no conteúdo fenólico da cerveja em relação à amostra controle, e por consequência uma elevação em sua atividade antioxidante, obtendo sucesso na incorporação dos fitoquímicos do gengibre e mel na cerveja, sendo que um dos principais desses componentes orgânicos é o 6-gingerol, que proporciona efeito analgésico e anti-inflamatório e é utilizado em tratamento fitoterapêutico como antitumoral e antimetastático. O mel é rico em fitoquímicos como epigenina, pinocembrina, galangina, crisina entre outros flavonoides e ácidos fenólicos que contribuem na promoção da saúde, implicando em efeitos antimicrobiano, antiulcerogênico, imunomodulador e hipotensivo ao organismo. (RIBEIRO *et al.*, 2020)

Os efeitos da adição da substância resinosa própolis nos compostos bioativos e capacidade antioxidante da cerveja foi avaliado por Ulloa *et al.* (2017), sendo que a resina acrescentou maior potencial antioxidante às cervejas, agregando valor nutricional ao

produto e influenciando de forma positiva na manutenção de sua qualidade ao longo das etapas do processo produtivo da cerveja, que podem reduzir os bioativos oriundos dos ingredientes convencionais, além de incorporar uma série de fitoquímicos presentes na resina do própolis, em maior abundância os fenóis e flavonoides (como pinocembrina, galangina, kaempferol e quercetina) e derivados do ácido *p*-cumárico. Santhiravel *et al.* (2022) ainda ressalta que esses compostos estão relacionados à efeitos antimicrobianos e anticarcinogênicos e anti-inflamatórios no organismo, além de reforçar a imunidade, auxiliar em processos de cicatrização e contribuir com a higiene bucal saudável.

Fonseca *et al.* (2020) avaliou a incorporação de hibisco na cerveja, resultando em um aumento expressivo no conteúdo de fenólicos no produto e também no potencial antioxidante, evidenciando a diversidade dos bioativos do hibisco, rico em ácidos orgânicos como ácido tartárico, málico, oxálico e hidroxicítrico, que são responsáveis pela sua acidez característica, além das antocianinas, como cianidinas e delphinidinas glicosiladas, que são responsáveis pela sua coloração, sendo que esses fitoquímicos do hibisco conferem elevado efeito antioxidante ao ingrediente, e proporcionam benefícios como contribuir na diminuição do risco de doenças cardiovasculares e atenuar o estresse oxidativo relacionado à doenças crônico-degenerativas.

A elaboração de cerveja com a adição de extrato de especiarias como canela e cravo-da-índia foi avaliada por Mesquita *et al.* (2020). O cravo-da-índia, segundo Weiller (2017), é rico em fitoquímicos como eugenol, batecariofileno, entre outros fenólicos, terpenoides e fitoesteróis, que além de conferirem à esse condimento seu aroma e sabor específico, contribuem também para efeitos terapêuticos, apresentando ação antibacteriana e alívio de dores na região bucal, além de auxiliar em náuseas e indigestão. A canela também possui uma série de fitoquímicos como o cineol, cinamaldeído, eugenol, felandreno, vanilina, cumarinas, dentre outros bioativos que proporcionam à especiaria benefícios como melhora na disposição geral, auxílio em problemas respiratórios, facilita a digestão, auxilia no controle da diabetes, entre outros impactos positivos na saúde. (WEILLER, 2017)

A adição de nibs de cacau em até 2%, realizada em diferentes etapas do processo de elaboração de cerveja artesanal, foi estudada por Machado *et al.* (2020). Foi possível observar, nesse estudo, que o teor de flavonoides e fenólicos totais obtidos na cerveja com nibs adicionado foi até três vezes maior em relação à amostra controle, resultando em um aumento na capacidade antioxidante dessas cervejas e enriquecendo seu conteúdo de

bioativos. Fernandes *et al.* (2019) relata diversos benefícios proporcionados pelo consumo dos fitoquímicos do cacau, que englobam trans-resveratrol, metilxantinas, outros estilbenos e proantocianidinas, e uma série de flavonoides e ácidos orgânicos, que em geral auxiliam na regulação do nível glicêmico, melhora na circulação sanguínea e na saúde do coração, entre outros benefícios.

A produção de cervejas artesanais com uva ou vinho já se tornou comum em diversas microcervejarias. Serea *et al.* (2022) estudou o valor nutricional agregado em cervejas produzidas com o extrato de cascas de uva roxa, ricas em fitoquímicos como o estilbeno resveratrol em especial, além de ácidos fenólicos como ácido caftárico, coutárico, fertárico e cumárico, alguns carotenoides e tocoferóis, que proporcionam ao fruto suas propriedades cardioprotetoras, antitumorais, atenuação de doenças neurodegenerativas, entre outros benefícios à saúde.

Sorbo *et al.* (2019) realizou a caracterização de antioxidantes em cervejas suplementadas com polpa integral de maracujá, onde foi possível constatar aumento significativo nos compostos fenólicos e na capacidade antioxidante no produto elaborado em comparação às amostra controle, sendo esses fitoquímicos do grupo dos flavonóides em maior abundância, como a vitexina, orientina, saponarina, luteonina, hesperidina e também carotenoides, como  $\beta$ -criptoxantina, prolicopeno, dentre outros bioativos, sendo que o consumo do fruto é muito utilizado na fitoterapia para o controle da ansiedade, combate à insônia e proteção cardiovascular, além contribuir na regulação do estresse oxidativo no organismo.

Gasinski *et al.* (2020) estudou a atividade antioxidante e caracterização de cervejas com a adição de polpa de manga, exaltando o fruto como um boa fonte de fitoquímicos como mangiferina, canferol, quercetina, derivados do ácido elágico, flavonoides, antocianinas e carotenoides como o  $\beta$ -caroteno, que além de elevar o potencial antioxidante da bebida, estão relacionados à efeitos gastroprotetores, saúde ocular e epitelial, prevenção de câncer, diminuição de processos inflamatórios e regulação dos níveis de colesterol.

A incorporação de framboesa na elaboração de cerveja artesanal foi avaliada por Yin *et al.* (2021), avaliando os parâmetros que envolvem melhoria da estabilidade oxidativa e aspectos sensoriais do produto. A adição do fruto seco, que foi realizada em diferentes etapas da produção da cerveja, levou à um aumento significativo nos

compostos bioativos, em especial os ácidos orgânicos, como ácido protocatecuico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico e ácido cafeico em comparação ao controle, além de também ter incorporado ao produto o flavonoide rutina, ácido elágico e antocianinas, sendo que esses fitoquímicos determinam o elevado potencial antioxidante presente no fruto e proporcionam efeitos antiproliferativo, anticancerígeno, anti-inflamatório, dentre outros benefícios à saúde.

Alguns fitoquímicos polifenóis como ácido gálico, quercetinas, taninos e em especial as catequinas epigallocatequina galato, epigallocatequina e epicatequina foram quantificadas em maior abundância em cervejas elaboradas com o extrato de chá verde *Camellia sinensis*. Yang *et al.* (2023) avaliou as características antioxidantes em cervejas artesanais produzidas com esse ingrediente, evidenciando um aumento na capacidade antioxidante dessas cervejas, relatando também as propriedades atribuídas ao seu consumo, como efeitos neuroprotetores, redução do dano celular, anticarcinogênico e auxilia no controle do índice glicêmico.

Castro *et al.* (2021) avaliou o potencial fenólico e antioxidantes em cervejas artesanais elaboradas com preparo de pimenta dedo-de-moça, onde foi possível observar um aumento nesses parâmetros nas cervejas elaboradas com o ingrediente em comparação à amostra controle. Mendes *et al.* (2020) relata os diversos fitoquímicos presentes na pimenta e a atribuição de seus benefícios à saúde, dentre eles uma diversidade de carotenoides, flavonoides, e em especial os capsaicinoides, compostos bioativos comumente encontrado em pimentas em geral. Esses compostos, como a capsaicina, contribuem com a prevenção de derrames, desobstrução nasal, alívio de dores, ativação da circulação sanguínea e do sistema imunológico, além de combaterem o envelhecimento precoce e enfermidades como psoríase e fibromialgia.

Outro estudo realizado por Filho *et al.* (2021) também avaliou os parâmetros que envolvem os bioativos e antioxidantes em cervejas artesanais preparadas com um tipo de pimenta, sendo essa a pimenta-preta, juntamente com o açafrão-da-terra, evidenciando a potencialização do efeito antioxidante no produto obtido quando comparado às amostras controle. A incorporação dos bioativos da pimenta e do açafrão agregaram valor nutricional significativo à bebida, pois a presença dos fitoquímicos piperina, alcaloide oriundo e característico da pimenta preta, potencializa e melhora a biodisponibilidade da curcumina, flavonoide que é o principal fitoquímico oriundo do açafrão. A combinação desses fitoquímicos característicos desses ingredientes, proporciona inúmeros efeitos

benéficos à saúde, promovendo ação efetiva sobre o sistema imunológico, potente ação anti-inflamatória, antioxidante e antimicrobiana, melhora da saúde cognitiva, combate o envelhecimento e danos celulares, além de outros efeitos terapêuticos.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Sendo um produto que iniciou com determinada singularidade em sua história, o estudo e a elaboração de diferentes cervejas foi evidenciada ao longo dos últimos, sendo incorporada por diferentes comunidades e culturas, tomando assim diferentes rumos quanto à sua formulação, sendo esse comportamento visível até a atualidade e difundido mundialmente.

Levando em consideração esse grande avanço no segmento das cervejas artesanais na modernidade, é notável o amplo universo que existe e ainda é explorado para esse produto, tanto quanto ao que tange a sua percepção sensorial pelos consumidores, assim como a sua riqueza nutricional, hoje em dia conhecida, e que tem sido cada vez mais estudada e explorada pelos cientistas, não só a nível nacional, mas também em diversos países.

É perceptível então que a sua diversidade no paladar e em sua composição fitoquímica exalte o elevado valor agregado à bebida, demonstrando o seu diferencial no que envolve as suas características em comparação às convencionais, seu potencial antioxidante e seu impacto na saúde do consumidor, quando consumida de forma moderada. Logo, é evidente a importância de se estudar e aprimorar o conhecimento científico nesse ramo das cervejas artesanais e de sua riqueza e diversidade em seus componentes bioativos e conteúdo fitoquímico que impactam na qualidade de vida.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBRA, R.; PASTORE, G.; LUCCHETTI, S. **The Role of Bioactive Phenolic Compounds on the Impact of Beer on Health.** *Molecules*, 26, 486, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26020486>
- ASSIS, H. M.; CAVALCANTI, M. T.; GONÇALVES, M. C.; LIMA, T. L. S.; QUEIROGA, I. M. B. N. **Cerveja Artesanal: Componentes e processo produtivo.** *Anais CIAGRO*, Jan. 2021. DOI:10.31692/IICIAGRO.0111
- BARBOSA, L. M. **A produção de cerveja ao longo da história.** B238p, Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de São Paulo, Barretos, 2018.
- BRASIL. Decreto nº 9.902, de 8 de julho de 2019. **Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 130, ISSN 1677-7042, 9 Jul. 2019.
- BORSA, A.; MUNTEAN, M. V.; SALANTA, L. C.; TOFANA, M.; SOCACI, S. A.; MUDURA, E.; POP, A.; POP, C. R. **Effects of Botanical Ingredients Addition on the Bioactive Compounds and Quality of Non-Alcoholic and Craft Beer.** *Plants*, 11, 1958, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11151958>
- CASTRO, T. L. A.; SANTOS, M. S. M.; CARDOSO, C. A. L. **Produção de cerveja artesanal com pimenta dedo-de-moça comercial.** *Rev Fitos*, v. 15, p. 73-78, 2021. DOI: 10.32712/2446-4775.2022.1163
- CHEIRAN, K. P.; RAIMUNDO, V. P.; MANFROI, V.; ANZANELLO, M. J.; KAHMANN, A.; RODRIGUES, E.; FRAZZON, J. **Simultaneous identification of low-molecular weight phenolic and nitrogen compounds in craft beers by HPLC-ESI-MS/MS,** *Food Chemistry*, vol. 286, pg. 113-122, ISSN 0308-8146, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.198>
- CHEMJONG, M.; YADAV, N. K.; AARZOO, SARKATE, A.; YAQOOB, M. **Bioactive Compounds, Types, Stability And Health Benefits.** *Plant Archives*, 21, 1863-1869, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.V21.S1.300>
- DE FRANCESCO, G.; BRAVI, E.; SANARICA, E.; MARCONI, O.; CAPPELLETTI, F.; PERRETTI, G. **Effect of Addition of Different Phenolic-Rich Extracts on Beer Flavour Stability.** *Foods*, 9, 1638, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9111638>
- DOSTÁLEK, P.; KARABÍN, M.; JELÍNEK, L. **Hop Phytochemicals and Their Potential Role in Metabolic Syndrome Prevention and Therapy.** *Molecules*, 22, 1761, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22101761>

FERNANDES, P. S. **Nibs de cacau: características nutricionais e sensoriais, compostos bioativos e desenvolvimento de produto.** 82f, Dissertação. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

FILHO, R. C. N.; GALVAN, D.; EFFTING, L.; TERHAAG, M. M.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T.; SPINOSA, W. A. **Effects of adding spices with antioxidants compounds in red ale style craft beer: A simplex-centroid mixture design approach,** *Food Chemistry*, vol. 365, 130478, ISSN 0308-8146, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130478>

FONSECA, K. T. **Cerveja artesanal adicionada de hibisco (hibiscus sabdariffa L.): determinação da atividade antioxidante e compostos fenólicos.** 51f, Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

GASIŃSKI, A.; KAWA-RYGIELSKA, J.; SZUMNY, A.; CZUBASZEK, A.; GAŚIOR, J.; PIETRZAK, W. **Volatile Compounds Content, Physicochemical Parameters, and Antioxidant Activity of Beers with Addition of Mango Fruit (Mangifera Indica).** *Molecules*, 25, 3033, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25133033>

HUMIA, B. V.; SANTOS, K. S.; BARBOSA, A. M.; SAWATA, M., MENDONÇA, M. DA C.; PADILHA, F. F. **Beer Molecules and Its Sensory and Biological Properties: A Review.** *Molecules*, 24(8), 1568. 2019. DOI: 10.3390/molecules24081568

IDEHEN, E.; TANG, Y.; SANG, S. **Bioactive phytochemicals in barley.** *Journal of food and drug analysis*, 25(1), 148–161, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.08.002>

MACHADO, E. R.; FORTES, J. P.; FRANCO, F. W.; SOUZA, R. M.; SAUTTER, C. K.; **Composição fenólica e sensorial de cervejas artesanais com adição de nibs de cacau.** *Braz. J. of Develop.*, v. 6, n. 7, p. 54125- 54135, ISSN 2525-8761. Curitiba, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-892

MARCOS, A.; SERRA-MAJEM, L.; PÉREZ-JIMÉNEZ, F.; PASCUAL, V.; TINAHONES, F.J.; ESTRUCH, R. **Moderate Consumption of Beer and Its Effects on Cardiovascular and Metabolic Health: An Updated Review of Recent Scientific Evidence.** *Nutrients*, 13, 879, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13030879>

MAPA, 2021. **Anuário da cerveja 2021.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2021.pdf/view>. Acesso em 10 fev. 2023.

MARGON, R. A.; TAVARES, L. A.; ARRIECHE, L. S. **Influência Do Processo Produtivo Na Quantidade De Compostos Fenólicos E Na Atividade Antioxidante Presentes Na Cerveja.** *Anais COBEQ*, ISSN: 21785600, Vol 1, 2016.

MARQUES D. R.; CASSIS M. A.; QUELHAS J. O. F.; BERTOZZI J.; VISENTAINER J. V.; OLIVEIRA C. C.; MONTEIRO A. R. G. **Characterization of craft beers and**

**their bioactive compounds**, *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1747-1752, 2017. DOI: 10.3303/CET1757292

MARTINEZ-GOMEZ, A.; CABALLERO, I.; BLANCO, C.A. **Phenols and Melanoidins as Natural Antioxidants in Beer**. Structure, Reactivity and Antioxidant Activity. *Biomolecules*, 10, 400, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10030400>

MENDES, N. S.; GONÇALVES, E. C. B. **The role of bioactive components found in peppers**, *Trends in Food Science & Technology*, vol.99, pg. 229-243, ISSN 0924-2244, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.032>

MESQUITA, J. S.; RAMOS, J. P.; EVERTON, G. O.; FILHO, V. E. M.; COELHO, S. C.; **Produção e avaliação físico-química de uma cerveja artesanal puro malte com adição de extratos de *Syzygium aromaticum* e *Cinnamomum zeylanicum***. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, ISSN 2525-3409, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6216>

MIKYŠKA, A.; DUŠEK, M.; SLABÝ, M. **How does fermentation, filtration and stabilization of beer affect polyphenols with health benefits**. *KVASNY PRUMYSL*, S. l., v. 65, n. 4, p. 120–126, 2019. DOI: 10.18832/kp2019.65.120.

MIZRAHI, M. M. **Mapeamento Das Tendências Na Produção De Cerveja Artesanal Brasileira**. Monografia, 89 p., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2020.

NARDINI, M.; FODDAI, M. S. **Phenolics Profile and Antioxidant Activity of Special Beers**. *Molecules*. 25(11): 2466, 2020. DOI: 10.3390/molecules25112466

NAVE, E.; DUARTE, P.; RODRIGUES, R. G.; PAÇO, A.; ALVES, H.; OLIVEIRA, T. **Craft beer – a systematic literature review and research agenda**, *International Journal of Wine Business Research*, vol. 34 n. 2, p. 278-307, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJWBR-05-2021-0029>

NETO, D. M. C.; FERREIRA, L. L. P.; SAD, C. M. S.; CASTRO, E. V. R.; BORGES, W. S.; FILGUEIRAS, P. R.; JUNIOR, V. L. **Conceitos Químicos Envolvidos na Produção da Cerveja: Uma Revisão**. *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, C.; SOUZA, C.; GUEDES, K. M. **Compostos Antioxidante Presentes Na Cerveja E Sua Relação Com A Saúde Humana**. *Ciência E Tecnologia De Alimentos: O Avanço Da Ciência No Brasil*, 6, 70-85, 2022. DOI: 10.37885/220609140

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, W. M.; PRATI, W. J.; RUFINO, P. C. H.; SANTANA, R. P. V. F.; BASSOLI, B. K.; DA SILVA, F. C. **Ação Quimiopreventiva dos Fitoquímicos por meio da Regulação do Fator de Transcrição Nrf2: Revisão Integrativa da Literatura**. *Revista Brasileira de Cancerologia*, S. l., v. 66, n. 1, p. e-07428, 2020. DOI: 10.32635/2176-9745.RBC.2020v66n1.428.

ÖZCAN, M. M.; ALJUHAIMI, F.; USLU, N. **Effect of malt process steps on bioactive properties and fatty acid composition of barley, green malt and malt grains**. *Journal*

of *Food Science Technology*, 55, 226–232, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2920-1>

PEREIRA, C. M. **Cerveja: história e cultura**. *Série Universitária Senac*, 138p., ISBN 6555367555-9786555367553, Editora Senac, São Paulo, 2021.

PIMENTA, L. B.; RODRIGUES, J. K. L. A.; SENA, M. D. D.; CORRÊA, A. L. A.; PEREIRA, R. L. G. **A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão**. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 37, n. 3, e26715, 2020. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26715

RAIHOFER, L.; ZARNOW, M.; GASTL, M.; HUTZLER, M. **A short history of beer brewing: Alcoholic fermentation and yeast technology over time**. *EMBO reports*, 23(12), e56355, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15252/embr.202256355>

RIBEIRO, S. G. O.; LIBERATO, M. C. T. C.; AGUIAR, G. C.; PAULA, F. R.; BARBOSA, K. L. **Elaboração de cerveja com mel de *Apis mellifera* L. florada Aroeira e raiz de gengibre (*Zingiber officinale*) e análise do teor de fenóis totais e atividade antioxidante**. *Braz. J. of Develop.*, v. 6, n. 9, p.73763-73774, ISSN 2525-8761, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n9-726

SANTHIRAVEL, S.; BEKHIT, A.E.-D.A.; MENDIS, E.; JACOBS, J.L.; DUNSHEA, F.R.; RAJAPAKSE, N.; PONNAMPALAM, E.N. **The Impact of Plant Phytochemicals on the Gut Microbiota of Humans for a Balanced Life**. *Int. J. Mol. Sci.*, 23, 8124, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23158124>

SEREA, D.; HORINCAR, G.; CONSTANTIN, O. E.; APRODU, I.; STĂNCIUC, N.; BAHIM, G. E.; STANCIU, S.; RAPEANU, G. **Value-Added White Beer: Influence of Red Grape Skin Extract on the Chemical Composition, Sensory and Antioxidant Properties**. *Sustainability*, 14, 9040, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159040>

SILVA, C. G. F.; JÚNIOR, J. B. L. **Crescimento do Mercado de Cervejas Artesanais no Brasil**. *Revista Científica e-Locução*, Vol. 1, n. 20, p.20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.57209/e-locucao.v1i20.385>

SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; PAULA, A. R. V. **Cerveja e Sociedade**. *Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade*, Vol. 4, no 2, ISSN 2238-4200, São Paulo, 2016.

SILVA, R. N. P.; DIAS, J. F.; KOBLITZ, M. G. B. **Beers: relationship between styles; phenolic compounds and antioxidant capacity**. *Research, Society and Development*, S. 1, v. 10, n. 3, p. e42210313471, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13471

SORBO, A.; BROETTO, F. **Caracterização Dos Antioxidantes Em Cervejas Tipo Pilsen Suplementadas Com Polpa De Maracujá**. *Energia Na Agricultura*, S. 1, v. 34, n. 3, p. 441–446, 2019. DOI: 10.17224/EnergAgric.2019v34n3p441-446

STATISTA. **Global market share of the leading beer companies in 2021, based on volume sales** [Infographic]. *Statista Search Department*, 01 Set. 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/257677/global-market-share-of-the-leading-beer-companies-based-on-sales/>. Acesso em 02 Fev 2023.

STATISTA. **Leading 10 countries in worldwide beer production in 2021**, [Infographic]. *Statista Search Department*, 01 Set. 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/270269/leading-10-countries-in-worldwide-beer-production/#:~:text=Global%20leading%20countries%20in%20beer%20production%202021&text=China%20was%20the%20leading%20producer,year%2C%20at%20203.57%20million%20hectoliters>. Acesso em 02 Fev 2023.

TEODORO, A. J. **Bioactive Compounds of Food: Their Role in the Prevention and Treatment of Diseases**. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1–4, 2019. DOI:10.1155/2019/3765986

ULLOA, P. A.; VIDAL, J.; ÁVILA, M. I.; LABBE, M.; COHEN, S.; SALAZAR, F. N. **Effect of the Addition of Propolis Extract on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Craft Beer**. *Journal of Chemistry*, 1–7, 2017. DOI: 10.1155/2017/6716053.

WALIA, A. S.; GUPTA, A. K.; SHARMA, V. **Role of Bioactive Compounds in Human Health**. *Acta Scientific Medical Sciences*, ISSN: 2582-0931, Vol. 3, I. 9, 2019.

WEILLER, J.; BEZERRA, A. S. **Elaboração E Análise Da Atividade Antioxidante De Cervejas Artesanais Incorporadas De Especiarias**. *Rev Educação Ciência e Tecnologia IFAM*, v. 11, n. 1, ISSN-E: 2238-4286, 2017.

WORLDPOPULATIONREVIEW. **Beer Consumption by country 2023** [Infographic], 2023. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/beer-consumption-by-country>. Acesso em 04 Fev 2023.

YANG, L.; LU, Z.; LU, J.; WU, D. **Evaluation of the antioxidant characteristics of craft beer with green tea**. *Journal of Food Science*, v. 8, I. 2, p. 625-637, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16441>

YIN, H.; DENG, Y.; ZHAO, J.; ZHANG, L.; YU, J.; DENG, Y. **Improving Oxidative Stability and Sensory Properties of Ale Beer by Enrichment with Dried Red Raspberries (*Rubus idaeus* L.)**, *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 79:4, 370-377, 2021. DOI: 10.1080/03610470.2020.1864801