

**Curso de Mestrado Profissional em Ciência e
Tecnologia de Alimentos**

Campus Rio de Janeiro

Giovan Kronenberger

**Desenvolvimento e caracterização
de cerveja com adição de
cúrcuma (*Curcuma longa*),
pimenta do reino (*Piper nigrum*) e
canela (*Cinnamomum Zeylanicum*)**

Rio de Janeiro

2024

GIOVAN KRONENBERGER

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CERVEJA COM ADIÇÃO DE
CÚRCUMA (*Curcuma longa*), PIMENTA DO REINO (*Piper nigrum*) E CANELA
(*Cinnamomum Zeylanicum*)**

Dissertação apresentada como requisito para a conclusão do Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

Orientadoras: Prof^a Dra. Luciana Cardoso Nogueira e Prof^a Dra. Renata Santana Lorenzo Raices

RIO DE JANEIRO

2024

Ficha catalográfica elaborada por
Anderson Moraes Chalaça
CRB7 5667

K93d Kronenberger, Giovan.

Desenvolvimento e caracterização de cerveja com adição de cúrcuma (*Curcuma longa*), pimenta do reino (*Piper nigrum*) e canela (*Cinnamomum Zeylanicum*) / Giovan Kronenberger. – Rio de Janeiro, 2024.

127 f.: 21 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2024.

Orientadores: Prof. Dra. Renata Santana Lorenzo Raices.

1. Harmonização de cervejas. 2. Compostos bioativos. 3. Avaliação sensorial. I. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. II. Raices, Renata Santana Lorenzo. III. Título.

IFRJ/CMAR/CoBib

CDU 663.4

GIOVAN KRONENBERGER

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CERVEJA COM ADIÇÃO DE
CÚRCUMA (*Curcuma longa*), PIMENTA DO REINO (*Piper nigrum*) E CANELA
(*Cinnamomum Zeylanicum*)**

Dissertação apresentada como
requisito para a conclusão do
Mestrado Profissional em Ciência e
Tecnologia de Alimentos do Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio de Janeiro.

Aprovado em 15 /05 /2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RENATA SANTANA LORENZO RAICES**
Data: 15/05/2024 17:08:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Dra. Renata Santana Lorenzo Raices (Orientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANA CARDOSO NOGUEIRA**
Data: 15/05/2024 17:18:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Dra. Luciana Cardoso Nogueira (Orientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

Documento assinado digitalmente
 **GABRIEL OLIVEIRA DE RESENDE**
Data: 15/05/2024 18:51:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gabriel Oliveira de Resende (Membro Interno)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

Documento assinado digitalmente
 **MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA**
Data: 15/05/2024 17:32:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Dra. Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa (Membro Externo)

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO GOMES DA CRUZ**
Data: 20/05/2024 13:01:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Gomes da Cruz (Membro Suplente)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por me guiar neste caminho do conhecimento e por ter me dado força nos momentos mais conturbados.

À toda minha família, em especial à minha mãe e à minha esposa, que são meu suporte e apoio em todos os momentos da minha vida. Agradeço pela paciência, ausência e eventual alteração de humor durante esta jornada.

Às minhas orientadoras Renata Raices e Luciana Nogueira, que assumiram este compromisso comigo e me guiaram por toda esta caminhada. Se não fossem vocês, certamente, eu teria desistido.

A todos bolsistas e estagiários da “Planta Piloto Cervejeira”, do “Laboratório Físico Químico de Alimentos” e do “Laboratório de Análise Instrumental” do IFRJ (*campus* Rio de Janeiro), em especial ao Guilherme Andrade de Santana, Gabriel Ribeiro Oliveira da Silva, Giulia Aliprandi Lucido, Camille Brown, Rafaella Silva Moura, Ana Carolina Ramos da Silva e Gabriel Caldeira de Castro Faria, além do Professor Adriano Gomes da Cruz, pelo incomensurável apoio nas análises realizadas.

Aos meus amigos do meio cervejeiro de Petrópolis-RJ, em especial ao Pedro Troyack (cervejeiro caseiro), Ricardo Branco (Cervejaria Dr. Duranz), Bruno Braga (Cervejaria Sampler) e Cleiton Ornellas (Cervejaria Sampler) pelas ideias para a receita e desenvolvimento das cervejas.

Aos membros da banca examinadora pela leitura da dissertação e pelas sugestões dadas no momento da qualificação.

Aos participantes da “Análise Sensorial” que dispuseram do seu tempo para colaborar nesta avaliação.

Aos professores e colegas de turma do mestrado por todos os ensinamentos que contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos pessoais que me proporcionaram momentos de alegria e descontração que serviram de alívio para os períodos mais estressantes.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma ajudaram na realização deste sonho.

Muito obrigado.

*"No fim tudo dá certo, e se não deu certo é
porque ainda não chegou ao fim"*

Fernando Sabino

*"A cerveja é a prova viva de que Deus nos
ama e nos quer ver felizes"*

Benjamin Franklin

KRONENBERGER, G. Desenvolvimento e caracterização de cerveja com adição de cúrcuma (*Curcuma longa*), pimenta do reino (*Piper nigrum*) e canela (*Cinnamomum Zeylanicum*). p. 127. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *Campus* Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

RESUMO

A cerveja é uma bebida milenar e muito popular em diversos países do mundo. Trata-se da bebida alcóolica mais produzida e consumida no mundo. Pode ser definida como uma bebida fermentada resultante da ação de leveduras sobre o mosto cervejeiro contendo água, malte e lúpulo. Com o crescente mercado das microcervejarias, os consumidores passaram a ter oportunidade de experimentar cervejas especiais com adição de ingredientes diferenciados. Este estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar cervejas com adição de cúrcuma, pimenta do reino e canela, que são especiarias tradicionalmente conhecidas pela capacidade de promover benefícios à saúde humana. O estilo da cerveja escolhido foi a *Belgian Blonde Ale*, devido à preferência dos belgas por cervejas com adição de especiarias. Foram formuladas três cervejas com diferentes concentrações destas especiarias, além da cerveja controle. Para a caracterização das cervejas produzidas foram avaliados os principais parâmetros físico-químicos (teor alcóolico, densidade, extrato primitivo, extrato aparente, extrato real, valor energético, amargor, cor, pH), além de investigar o aumento dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante. Adicionalmente, foram realizadas análises de voláteis com o objetivo de avaliar que compostos presentes nas especiarias migraram para as cervejas e identificar a presença de compostos capazes de impactar no aroma e sabor das cervejas (*on flavors* e *off-flavors*). Finalmente, foi realizada análise sensorial das cervejas produzidas a fim de identificar a preferência do público consumidor, bem como a intenção de compra de cada cerveja produzida.

Palavras-chaves: Cerveja. Especiarias. Compostos Bioativos. *Off Flavors*. Análise Sensorial.

KRONENBERGER, G. Desenvolvimento e caracterização de cerveja com adição de cúrcuma (*Curcuma longa*), pimenta do reino (*Piper nigrum*) e canela (*Cinnamomum Zeylanicum*). p. 127. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *Campus* Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

ABSTRACT

The beer is an ancient beverage that is very popular in many countries around the world. It is the most produced and consumed alcoholic beverage in the world. It can be defined as a fermented beverage resulting from the action of yeast on beer wort containing water, malt and hops. With the growing microbrewery market, consumers have had the opportunity to try special beers with the addition of different ingredients. This study aimed to develop beer with the addition of turmeric, black pepper and cinnamon, which are spices traditionally known for their ability to promote health benefits to humans. The beer style chosen was Belgian Blonde Ale, due to the preference of Belgians for beers with added spices. Three beers with different concentrations of these spices were formulated, in addition to the control beer. To characterize the beers produced, the main physical-chemical parameters were evaluated (alcoholic content, density, primitive extract, apparent extract, real extract, energy value, bitterness, color, pH), in addition to investigating the increase in phenolic compounds and antioxidant activity. Additionally, volatile analyses were performed to evaluate which compounds present in the spices migrated to the beers and to identify the presence of compounds capable of impacting the aroma and flavor of the beers (*on flavors* and *off-flavors*). Finally, a sensory analysis of the beers produced was carried out in order to identify consumer preferences and purchase intentions for each beer produced.

Key-words: Beer. Spices. Bioactive compounds. Off Flavors. Sensory analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1	Classificação (escala EBC) das cores de cervejas.....	21
Figura 2	Estruturas químicas dos principais α -ácidos (humulonas) do lúpulo	22
Figura 3	Reação de isomerização da humulona	23
Figura 4	Fluxograma da produção de cerveja	27
Figura 5	Moinho de cilindros, moinho de martelos e moinho de discos	28
Figura 6	Principais rotas bioquímicas durante a fermentação da cerveja	32
Figura 7	Principais classes de compostos fenólicos	36
Figura 8	Estruturas químicas dos principais ácidos fenólicos.....	37
Figura 9	Estruturas químicas dos principais flavonóides	38
Figura 10	Matérias primas utilizadas na produção das cervejas	49
Figura 11	Especiarias utilizadas nas cervejas: cúrcuma, pimenta e canela	49
Figura 12	Tela do <i>software BeerSmith</i> com a receita da <i>Belgian Blond Ale</i>	51
Figura 13	Fluxograma para produção de 25 litros das cervejas	51
Figura 14	Equipamento utilizado na brassagem (<i>single vessel</i>)	52
Figura 15	Etapa de brassagem e teste de iodo	53
Figura 16	Panela de fervura, com a adição de lúpulo, açúcar e especiarias	54
Figura 17	Pá utilizada no <i>Whirlpool</i> e serpentina para resfriamento	54
Figura 18	Transferência para bombona e inoculação da levedura	55
Figura 19	Bombonas contendo mostos fermentando/maturando em geladeira ..	56
Figura 20	Carbonatação forçada em <i>Kegs</i> de aço inoxidável	57
Figura 21	Amostras das cervejas produzidas	57

Figura 22	Aparelho <i>Alcolyzer</i> utilizado nas análises de cervejas	58
Figura 23	Tela do <i>Alcolyzer</i> após análise da cerveja	59
Figura 24	Aparelho pHmetro utilizado nas análises de pH	60
Figura 25	Colorímetro utilizado nas análises de cor	60
Figura 26	Espectrofotômetro utilizado nas análises de amargor	61
Figura 27	Amostras de ácido gálico para determinação da curva padrão	63
Figura 28	Cromatógrafo gasoso utilizado nas análises de voláteis	65
Figura 29	Cabine de análise sensorial	67
Figura 30	Planta Piloto Cervejeira do IFRJ, <i>campus</i> Rio de Janeiro	67
Figura 31	Roda de aromas da levedura <i>Abbaye da Lallemant</i>	88

GRÁFICOS

Gráfico 1	Número de cervejarias registradas no MAPA.....	9
Gráfico 2	Correlações entre os teores de CFT e a AAs.....	77
Gráfico 3	Correlação entre CFT e AA das cervejas analisadas	78
Gráfico 4	Perfil dos participantes da análise sensorial	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Influência dos principais íons da água no perfil sensorial da cerveja ...	18
Tabela 2	Principais tipos de maltes e seus impactos na cerveja.....	20
Tabela 3	Principais grupos enzimáticos da etapa de cozimento	29
Tabela 4	Principais compostos voláteis da cerveja e seus aromas e sabores	42
Tabela 5	Amostras das cervejas e concentrações das especiarias	50
Tabela 6	Resultados das análises físico-químicas realizadas no Alcolyzer	68
Tabela 7	Resultados das demais análises físico-químicas	68
Tabela 8	Resultados das análises de fenólicos e da capacidade antioxidante ...	74
Tabela 9	Principais compostos identificados na cúrcuma	80
Tabela 10	Principais compostos identificados na pimenta do reino	82
Tabela 11	Principais compostos identificados na canela	83
Tabela 12	Principais compostos voláteis identificados nas cervejas	85
Tabela 13	Compostos das especiarias relacionados com as cervejas	92
Tabela 14	Principais <i>flavors</i> que formam o aroma e o sabor de cervejas	97
Tabela 15	Resultado da análise sensorial (por atributo) - escala de 9 pontos ...	102
Tabela 16	Resultado da intenção de compra - em escala de 5 pontos	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Atividade Antioxidante
ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico
a.C.	Antes de Cristo
BJCP	<i>Beer Judge Certification Program</i>
CAR	Carboxen
CFT	Compostos Fenólicos Totais
CG	Cromatografia gasosa
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
CTC	<i>Combi Pal Sampler</i>
DMS	Dimetilsulfeto
DMTS	Dimetil-trisulfeto
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazil
DVB	Divinilbenzeno
EBC	<i>European Brewery Convention</i>
EM	Espectrometria de massas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAN	<i>Free Amino Nitrogen</i>
FDC	<i>Food Data Central</i>
FRAP	<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>
HS	<i>Head Space</i>
IBU	<i>International Bitterness Units</i>
IN	Instrução Normativa
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária

MBT	3-metil-2-buten-1-ol
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
MEFS	Microextração em fase sólida
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
PDMS	Polidimetilsiloxano
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PPB	Partes por Bilhão
PTFE	Politetrafluoretileno
RENASEM	Registro Nacional de Sementes e Mudas
RNA	Ácido Ribonucleico
TCLE	Termo de Consentimento Livre Esclarecido
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
VOCs	<i>Volatiles Organic Compounds</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 CERVEJA	12
3.1.1 Matérias Primas	16
3.1.1.1 Água	16
3.1.1.2 Malte de Cevada	18
3.1.1.3 Lúpulo	21
3.1.1.4 Levedura	24
3.1.1.5 Adjuntos Cervejeiros	25
3.1.2 Processamento	26
3.1.3 Compostos Bioativos da Cerveja	34
3.1.3.1 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante	35
3.1.4 Compostos Voláteis da Cerveja	39
3.2 ESPECIARIAS	44
3.2.1 Cúrcuma	44
3.2.2 Pimenta do Reino	45
3.2.3 Canela	46
4. MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1 MATÉRIAS PRIMAS E FORMULAÇÕES	48
4.2 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS DE CERVEJAS	50
4.3 MÉTODOS ANALÍTICOS	58
4.3.1 Análises Físico-Químicas	58
4.3.1.1 Teor Alcoólico, Densidade, Extratos e Valor Energético	58
4.3.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)	59
4.3.1.3 Cor	60
4.3.1.4 Amargor	61
4.3.2 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante	62
4.3.2.1 Compostos Fenólicos	62

4.3.2.2 Atividade Antioxidante (AA)	63
4.3.3 Compostos Voláteis	64
4.4 ANÁLISE SENSORIAL	66
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS CERVEJAS	68
5.2 QUANTIFICAÇÃO DE FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	74
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS	79
5.3.1 Voláteis nas Especiarias	79
5.3.1.1 Cúrcuma	79
5.3.1.2 Pimenta do reino	81
5.3.1.3 Canela	83
5.3.2 Voláteis nas Cervejas	84
5.3.2.1 Relação Entre Voláteis das Especiarias e Voláteis das Cervejas	91
5.3.2.2 Compostos Relevantes para o Aroma e Sabor das Cervejas	95
5.4 ANÁLISE SENSORIAL	100
5.4.1 Perfil dos Participantes	101
5.4.2 Resultados da Análise Sensorial	102
6. CONCLUSÃO	107
REFERÊNCIAS	109
APÊNDICES	125
ANEXO	127

1. INTRODUÇÃO

A cerveja é a terceira bebida mais popular do mundo, perdendo apenas para a água e o chá (NELSON & COX, 2014). Trata-se de uma bebida milenar, utilizada na alimentação humana há mais de 10.000 a.C. (LIU et al, 2018).

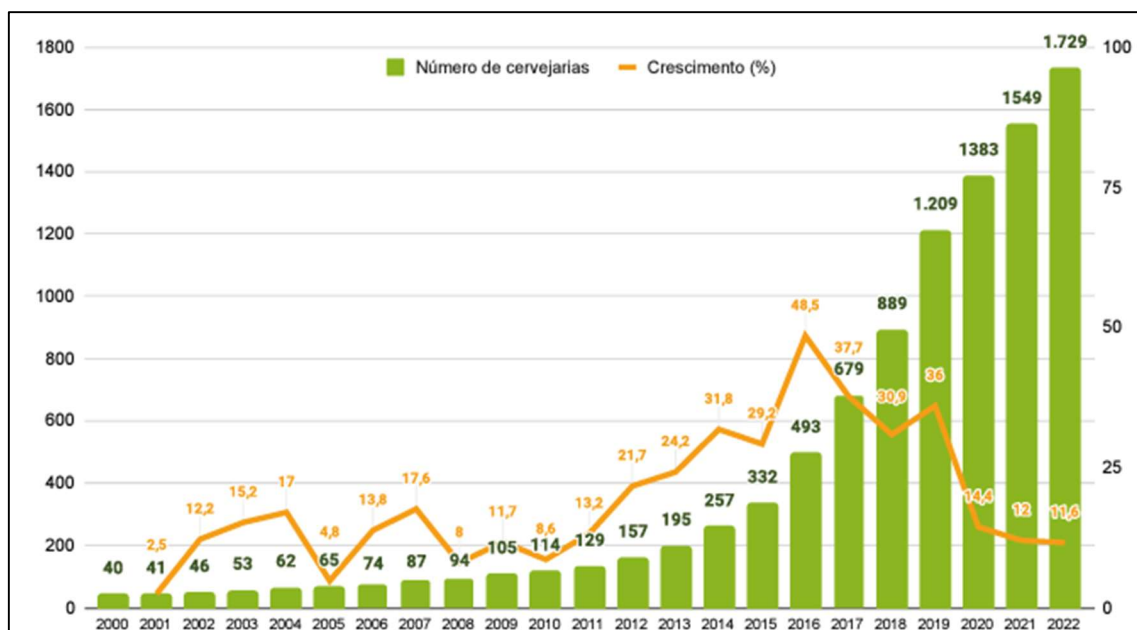
É a bebida alcóolica mais consumida no mundo, com um total aproximado de 189 bilhões de litros produzidos anualmente. O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, com a soma de 14,7 bilhões de litros produzidos no ano de 2022, ficando atrás apenas da China (36,0 bilhões de litros) e dos Estados Unidos (19,4 bilhões de litros) (BARTH-HASS, 2023).

O setor cervejeiro brasileiro fatura cerca de R\$ 107 bilhões por ano, o que corresponde a 1,1% do PIB e 14% da indústria de transformação nacional, além de ser responsável pela geração de mais de 2,7 milhões de empregos e por garantir a arrecadação de impostos na ordem de R\$ 30 bilhões (SINDCERV, 2022; CERVBRASIL, 2022).

Nas últimas duas décadas, vem se observando um crescimento exponencial do número de microcervejarias registradas no Brasil, conforme pode ser observado no Gráfico 1. Segundo o Anuário da Cerveja (MAPA, 2023), no ano de 2000, havia apenas 40 cervejarias registradas, sendo quase todas relacionadas às indústrias tradicionais de grande escala. No ano de 2013, este número já tinha aumentando para 195 cervejarias registradas, mostrando que a entrada das microcervejarias era um processo irreversível. Assim, no ano de 2022, este número atingiu o patamar de 1.729 cervejarias registradas no Brasil, o que representa um crescimento próximo de 800% para a última década.

Ainda não existe definições quanto às diferenças entre microcervejaria, cervejaria artesanal e outros nomes correlatos (MAPA, 2023) e nem dados oficiais específicos deste segmento da produção cervejeira. Mas, é neste ambiente de fabricação em menor escala onde são produzidas as cervejas mais popularmente conhecidas como artesanais ou cervejas especiais.

Gráfico 1: Número de cervejarias registradas no MAPA.



Fonte: Extraído de MAPA (2023).

O público consumidor deste tipo de cerveja é formado por pessoas mais exigentes quanto à qualidade sensorial e buscam um produto diferenciado, independente do preço. Estas cervejas também se caracterizam por serem mais encorpadas, com aroma e sabor mais agradáveis, geralmente mais alcoólicas e com propriedades aromáticas bastante específicas (ARAÚJO et al., 2003).

Além do diferencial de qualidade, outra marca registrada das microcervejarias é a inovação. Os cervejeiros artesanais interpretam estilos históricos com inovações únicas e desenvolvem receitas diferenciadas que geralmente não são ofertadas nos produtos das grandes cervejarias tradicionais (BREWERS ASSOCIATION, 2017).

As cervejas especiais também se caracterizam pela adição de ingredientes incomuns, tais como frutas, vegetais, especiarias, bem como, produtos de origem animal (GUGLIELMOTTI et al., 2020). O enriquecimento da cerveja com este tipo de ingrediente confere características únicas de aroma e sabor, além de contribuir para o aumento das concentrações de compostos bioativos, o que vem atraindo a atenção dos consumidores e também de pesquisadores envolvidos com a temática cerveja e saúde (DUCRUET et al., 2017; NARDINI & GARAGUSO, 2020).

A adição de especiarias às cervejas é mais antiga que a própria adição do lúpulo (MORADO, 2017). Por volta do ano 500, no território europeu, uma mistura de especiarias e ervas denominada *gruit* já era utilizada para temperar as cervejas (MUXEL, 2022).

A cúrcuma (*Curcuma longa*), a pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) e a canela (*Cinnamomum Zeylanicum*) são ingredientes tradicionalmente utilizados na medicina oriental devido aos seus compostos bioativos que apresentam eficácia clínica em diversas áreas da saúde (LEITE et al, 2016).

Como os belgas nunca foram a favor da Lei da Pureza da Cerveja Alemã, (MOSHER, 2021) e tradicionalmente adicionam especiarias em suas cervejas, este trabalho apresenta o preparo e a caracterização de uma cerveja do estilo *Belgian Blond Ale* com a adição de cúrcuma, pimenta do reino e canela, que deverão contribuir para o aumento de compostos bioativos da cerveja. Dessa forma, acredita-se que o processamento desta cerveja poderá atender à necessidade do mercado atual que busca inovar com um produto diferenciado, de qualidade e envolvido com os efeitos benéficos sobre a saúde.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver cervejas com a adição de cúrcuma (*Curcuma longa*), pimenta do reino (*Piper nigrum*) e canela (*Cinnamomum Zeylanicum*).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma cerveja estilo *Belgian Blond Ale*, com a adição das referidas especiarias que foram adicionadas em 03 (três) concentrações distintas a fim de permitir a comparação dos resultados entre elas e entre a cerveja controle (sem adição de especiarias).
- Caracterizar as amostras das cervejas produzidas nos parâmetros físico-químicos convencionais (teor alcóolico, densidade, extrato primitivo, extrato aparente, extrato real, valor energético, amargor, cor e pH) a fim de verificar se a cerveja desenvolvida se enquadra no estilo desejado (*Belgian Blond Ale*);
- Analisar o teor de compostos fenólicos e o poder antioxidante das amostras produzidas, comparando-o com os teores da cerveja controle;
- Avaliar a presença dos compostos voláteis nas cervejas correlacionando com aqueles compostos oriundos das especiarias;
- Identificar a presença de compostos voláteis capazes de impactar no aroma e sabor das cervejas (*on flavors* e *off-flavors*)
- Realizar análise sensorial das amostras de cerveja com objetivo de determinar a preferência e o grau de aceitação do público consumidor.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CERVEJA

A cerveja é uma bebida elaborada com água, malte de cevada, lúpulo e levedura. Em diversos países, por não serem autossuficientes em cevada, o malte pode ser parcialmente substituído por outros cereais, tais como arroz, trigo, milho, aveia, centeio. Entretanto, independente da formulação, o lúpulo é ingrediente insubstituível (ROSA & AFONSO, 2015).

A composição da cerveja pode variar em função das matérias-primas e do processo de produção de cada estilo produzido. Mas, em geral, a cerveja para consumo é composta de 90 a 95% de água, de 2% a 6% de extrato residual, de 2% a 6% de etanol e de 0,35% a 0,50% de gás carbônico (DE KEUKELERIE, 2000).

A legislação brasileira define cerveja como a bebida composta por água, malte, lúpulo e levedura, onde, segundo o Decreto 9.902/2019 e a Instrução Normativa N° 65/2019, o malte pode ser substituído em até 45% por adjuntos cervejeiros (BRASIL, 2019).

Dessa forma, a legislação brasileira (IN 65/2019) classifica as cervejas em relação à proporção de matérias-primas da seguinte forma: (BRASIL, 2019).

"cerveja", quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo contém no mínimo 55% em peso de cevada malteada e no máximo 45% de adjuntos cervejeiros;

"cerveja 100% malte" ou "cerveja puro malte" quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém exclusivamente de cevada malteada ou de extrato de malte;

"cerveja 100% malte de (nome do cereal malteado)" ou "cerveja puro malte de (nome do cereal malteado)", quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém exclusivamente de outro cereal malteado;

"cerveja de (nome do cereal ou dos cereais majoritário(s), malteado(s) ou não)", quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém majoritariamente de adjuntos cervejeiros, sendo que esta poderá ter um máximo de 80% em peso da totalidade dos adjuntos cervejeiros em relação ao seu extrato primitivo e o mínimo de 20% em peso de malte de cevada, ou malte de (nome do cereal utilizado).

A referida Instrução Normativa também determina que o extrato primitivo apresente valores acima de 5% (m/m) para qualquer tipo de cerveja produzida

no Brasil. Cabe ressaltar que a legislação anterior (Decreto Nº 6871/2009) classificava as cervejas em “leve”, “comum”, “extra” e “forte”, de acordo com os valores de extrato primitivo, mas que tais termos não constam mais na legislação atual. O extrato primitivo é a quantidade de substâncias dissolvidas no mosto, ou seja, a quantidade de ingredientes além de água que constituem a cerveja antes do início da fermentação (DE ASSIS et al., 2021).

De acordo com a referida IN, a cerveja também pode ser classificada quanto ao teor de álcool da seguinte maneira (BRASIL, 2019):

“cerveja sem álcool”, aquela cujo conteúdo alcoólico é inferior ou igual a 0,5% (v/v);

“cerveja com teor alcoólico reduzido” ou “cerveja com baixo teor alcoólico”, aquela cujo conteúdo alcoólico é superior a 0,5% (v/v) e inferior ou igual a 2,0% (v/v); ou,

“cerveja”, aquela cujo conteúdo alcoólico é superior a 2,0% (v/v).

Cabe citar que o teor alcoólico da maioria das cervejas produzidas no mundo fica compreendido entre 2% e 6% (DE KEUKELERIE, 2000).

A legislação anterior (Decreto Nº 6871/2009) também classificava a cor da cerveja em “clara” ou “escura” de acordo com o critério definido pela Convenção Europeia de Cervejarias (EBC, do inglês *European Brewery Convention*): se o valor for abaixo de 20 unidades EBC, classificava-se a cerveja como “clara”; e, se for acima de 20 unidades EBC, classificava-se como “escura”. Contudo, a atual legislação (IN 65/2019) não apresenta mais este critério de classificação, embora as técnicas de medição e os resultados obtidos para a cor da cerveja continuam sendo amplamente utilizados pela indústria cervejeira.

Outro parâmetro que não está presente na legislação brasileira, mas que é muito utilizado como fator de diferenciação entre cervejas é o amargor. Esta característica se deve principalmente ao ingrediente lúpulo e pode ser quantificada através da Unidade Internacional de Amargor (IBU, do inglês *International Bitterness Units*). Em geral, estes valores variam entre 0 e 120 IBUs, sendo que quanto maior o número, mais amarga é a cerveja (DURELLO et al., 2019). Mesmo não havendo legislação que obrigue a exibição dos valores de amargor nos rótulos das cervejas é muito comum encontrar este tipo de informação nas diversas embalagens da bebida (DE ASSIS et al., 2020).

As cervejas também podem ser classificadas de acordo com três tipos de fermentação: baixa fermentação (*Lager*), alta fermentação (*Ale*) e de fermentação espontânea (*Lambic*). As cervejas de baixa fermentação (*Lagers*) caracterizam-se pelo fato de apresentarem sabores e aromas mais leves e suaves. As cervejas de alta fermentação (*Ales*), caracterizam-se pelo fato de serem cervejas mais encorpadas e com sabores mais complexos que as *Lagers*. Por fim, as cervejas de fermentação espontânea (*Lambic*), são aquelas que utilizam leveduras selvagens do próprio ambiente, e caracterizam-se por apresentarem sabores levemente ácidos e aromas altamente frutados (DANIELS, 1998; DA SILVA, 2020).

De acordo com o tipo de fermentação, os insumos utilizados e o local onde a cerveja historicamente é produzida, ao longo do tempo, diversos estilos de cervejas foram se tornando mundialmente conhecidos. Como exemplo de cervejas *Lagers*, pode-se citar: *Munchen*, *Helles*, *Dunkel*, *Bock*, e *Rauchbier*, de origem alemã; *Vienna*, de origem austríaca; *Czech Pale Lager* e *Czech Amber Lager*, de origem tcheca; e, as populares *American Lagers*, de origem norte americana, que muitas das vezes são chamadas de *Pilsen*, confundindo-as com a verdadeira *Pilsner*, de origem tcheca. Já para as cervejas *Ales*, tem-se como exemplos: *Bitter*, *Indian Pale Ale* e *Porter*, de origem inglesa; *Irish Red Ale* e *Stout*, de origem irlandesa; *Weissbier*, *Altbier* e *Kolsch* de origem alemã; *Witbier*, *Saison*, *Blond Ale* e *Trappiste*, de origem belga; e, *American Pale Ale*, de origem norte americana. Finalmente, para as cervejas de fermentação espontânea, os exemplos mais clássicos são a *Lambic* e a *Gueuze*, de origem belga (REINOLD, 2011; BJCP, 2021; VENTURINI FILHO & CEREDA, 2008).

A fim de apresentar as características de cada tipo de cerveja, foi desenvolvido o Guia de Estilos do Programa de Certificação de Juízes de Cerveja (BJCP, do inglês, *Beer Judge Certification Program*), que é muito utilizado em concursos e campeonatos de cervejas artesanais. Neste guia, os estilos de cerveja são separados de acordo com suas semelhanças ou regiões de origem, além de apresentar uma estimativa de alguns parâmetros como teor alcoólico, amargor e cor para cada tipo de cerveja (BJCP, 2021).

Estima-se que o número de estilos de cerveja no mundo seja superior a 20 mil (MORADO, 2017). Pequenas mudanças no processo de fabricação, como diferentes tempos e temperaturas de cozimento, fermentação e maturação, e o

uso de outros ingredientes diferenciados são responsáveis por uma grande variedade de tipos de cerveja (ROSA & AFONSO, 2015). Mas, o estilo que mais se destaca no mundo são as *American Lagers*, comumente chamadas de *Pilsen*. Trata-se de uma cerveja clara, leve, pálida, diluída, de pouco sabor e aroma, com teor alcoólico entre 3% e 5%, que recebe a adição de arroz e milho como adjuntos do malte (BJCP, 2021). No Brasil, o consumo da *Pilsen* chega a 98 % do total de cerveja consumida por ser a que mais se adequa ao nosso clima (ROSA & AFONSO, 2015).

Do ponto de vista nutricional, a cerveja é um alimento que apresenta quantidades significativas de carboidratos, proteínas, sais minerais e vitaminas. Um litro de cerveja equivale a 150g de pão em termos de carboidratos e a 25g de carne em termos de proteínas. Apresenta aproximadamente 400 kcal/L, o que corresponde a cerca 15% das necessidades diárias da dieta de uma pessoa adulta. Contém sais minerais (Ca, P, K, Zn, Mg) e vitaminas do complexo B em quantidades equivalentes a cerca de 10 % das necessidades diárias (COIMBRA et al., 2009).

A cerveja é uma bebida que possui capacidade antioxidante moderada, devido à presença de compostos fenólicos oriundos principalmente do malte e do lúpulo (GANBAATAR et al., 2015). A título de comparação, GRIGIO (2016) avaliou a atividade antioxidante pelo método DPPH de 08 frutas e encontrou valores entre 21,40% (mamão) e 94,99% (camu-camu), enquanto GRANATO (2011) avaliou a capacidade antioxidante de 29 cervejas pelo mesmo método e encontrou valores compreendidos entre 4,75% (*Lager*) e 59,98% (*Brown Ale*). Estes antioxidantes funcionam como sequestradores de radicais livres, prevenindo o estresse oxidativo e consequentemente o aparecimento de doenças crônicas como câncer e doenças cardiovasculares (VIEIRA, 2013).

NOGUEIRA et al. (2017) verificaram os efeitos do consumo moderado de cerveja sem álcool e cerveja alcóolica em parâmetros sanguíneos bioquímicos específicos de homens. Os resultados mostraram que 330mL de cerveja alcóolica por dia (consumo moderado), pode diminuir o colesterol “ruim” e aumentar o colesterol “bom”, além de ajudar a controlar os níveis de glicose no sangue. Esses resultados sugerem que este consumo moderado possa melhorar o perfil lipídico e a sensibilidade à insulina de homens adultos.

Pesquisas recentes (ZAPATA et al., 2019; GIACOSA et al., 2016) também fornecem evidências de que o consumo moderado de cerveja pode desenvolver um efeito cardioprotetor, na coagulação do sangue e no metabolismo da glicose. Portanto, estudos apontam que quando consumimos cerveja com moderação, os benefícios à saúde podem ser superiores aos das pessoas que não consomem cerveja ou de pessoas que consomem em alta quantidade. (MORENO-LLAMAS & DE LA CRUZ-SÁNCHEZ, 2023).

3.1.1 Matérias Primas

As matérias-primas básicas para a produção de cerveja são água, malte de cevada, lúpulo e levedura. Para substituir parte do malte, alguns ingredientes conhecidos como adjuntos cervejeiros, podem ser adicionados com o objetivo de diminuir os custos de produção e/ou de adicionar novos sabores e aromas à cerveja.

3.1.1.1 Água

Por representar cerca de 90% em massa da composição da cerveja, as propriedades físico-químicas e microbiológicas da água podem interferir no sabor do produto final. Por conta de sua relevância, durante muito tempo, a água foi considerada como um fator decisivo para a escolha do local de instalação de uma cervejaria. Muitas cervejas tornaram-se famosas devido à composição química da água usada na fabricação. Entretanto, atualmente, diante dos diversos tipos de tratamentos de água disponíveis, é possível adequar a água de acordo com o perfil da cerveja que se pretende produzir; contudo, tais tratamentos resultam no aumento do custo da cerveja (NASCIMENTO et al., 2022; VENTURINI FILHO & CEREDA, 2008).

A água cervejeira deve se apresentar incolor, límpida, isenta de impurezas, inodora, sem sabor, livre de microrganismos e livre de contaminantes tais como metais pesados e defensivos agrícolas. Três parâmetros de suma importância para a qualidade da água cervejeira são o pH, a dureza e a presença de sais minerais (DE KEUKELERIE, 2000; FIRJAN, 2014).

O pH da água impacta no processo de obtenção do mosto, na intensidade da cor, na coagulação de proteínas e na ação enzimática. É recomendável que o

pH da água cervejeira esteja entre 5,0 e 7,0 (DE KEUKELERIE, 2000). Porém, durante as etapas de brassagem e fervura, o ideal é que o pH seja ligeiramente ácido (entre 4,5 e 5,5) para evitar a dissolução de materiais existentes no malte e nas cascas dos cereais. (EUMANN & SCHILDBACH, 2012). Também é nesta faixa de pH que se maximiza a atividade enzimática do grão do cereal, com consequente aumento no rendimento de açúcares fermentáveis (AQUARONE et al., 2001).

A dureza da água é dada por sais de cálcio e magnésio, que juntamente com outros sais e respectivas concentrações podem produzir efeitos positivos ou negativos na qualidade da cerveja produzida. O cálcio protege a amilase da desativação térmica durante a brassagem, participa do metabolismo das leveduras, além de auxiliar na clarificação e na estabilidade da espuma da cerveja. O magnésio tem efeito semelhante ao cálcio, porém em menor intensidade, além de ser um nutriente para as leveduras. Os bicarbonatos funcionam como um tampão para o mosto ao neutralizarem a acidez do malte. Os sulfatos contribuem positivamente para acentuar o amargor das cervejas, mas em concentrações elevadas podem deixar o sabor adstringente. O sódio tem o efeito positivo de acentuar o sabor adocicado do malte, porém em teores elevados pode tornar o sabor salgado. Os cloretos realçam o sabor da cerveja, aumentando a sensação de corpo e o dulçor do malte, mas em altas concentrações são indesejáveis pois inibem a fermentação, contribuem para um sabor salgado, além de possibilitar a formação de compostos com aroma hospitalar (clorofenol) e de mofo (cloroanisol). A presença de ferro provoca o aumento da intensidade da cor da cerveja, além de atuar como agente de oxidação produzindo um gosto adstringente e deixando a bebida mais turva. A presença do zinco é importante pois este elemento estimula o crescimento da levedura, ativando a fermentação. E, os nitratos/nitritos também são indesejáveis pois são tóxicos às leveduras, interrompendo a fermentação. (BOULTON & QUAIN, 2008; DRAGONE et al., 2007; VENTURINI FILHO, 2010; ROSA & AFONSO, 2015).

Portanto, a concentração de sais minerais na água deve ser devidamente controlada, pois qualquer desequilíbrio pode acarretar em aromas e sabores indesejáveis na cerveja. A Tabela 1 apresenta os principais íons presentes na água e as concentrações que podem interferir na percepção sensorial da cerveja.

Cabe lembrar que concentrações apresentadas como “ideal” e “alterada” podem variar em função do estilo da cerveja a ser produzida (SALIMBENI et al., 2016; COELHO NETO et al., 2020).

Tabela 1: Influência dos principais íons da água no perfil sensorial da cerveja.

Íon	Concentração ideal (mg/L)	Concentração alterada (mg/L)	Percepção Sensorial
Ca^{+2}	50 a 150	-	Neutro
Mg^{+2}	10 a 40	> 40	Sabor ácido; Adstringente
$(\text{HCO}_3)^{-1}$	< 50	-	Acentua amargor; Alcalinidade
$(\text{SO}_4)^{-2}$	50 a 350	< 350 > 400	Acentua amargor do lúpulo Adstringente
Na^{+1}	< 150	< 200 > 200	Acentua sabor maltado; Dulçor Sabor salgado
Cl^{-1}	< 250	< 300 > 300	Acentua sabor maltado; Dulçor Sabor salgado
Fe^{3+}	< 0,05	> 0,05	Adstringente; Metálico

Fonte: Adaptado de SALIMBENI et al. (2016); COELHO NETO et al. (2020).

3.1.1.2 Malte de Cevada

Primeiramente é preciso diferenciar a cevada do malte. A cevada é o cereal da família das gramíneas (gênero *Hordeum*) e o malte é o resultado do processo forçado e controlado de malteação do cereal. Este processo ocorre nas maltarias e envolve as etapas de maceração, germinação e secagem/torrefação, onde o principal objetivo é estimular a ativação de enzimas (α -amilase, β -amilase e proteases) presentes no interior do grão (KUNZE, 2014).

A maceração consiste no aumento da umidade do grão, de cerca de 12% para 45%, mantendo-o por 3 a 4 dias, em temperatura próxima de 16°C. Estas são as condições ideais para estimular a germinação do cereal, que acarretará na ativação das enzimas. Após essa etapa, o processo é interrompido através do aquecimento e torra dos grãos. Em geral, os maltes claros são torrados

abaixo de 85°C e são comumente utilizados no preparo de cervejas claras. Já para os maltes mais escuros, a torra pode ocorrer em temperaturas acima de 200°C, o que degrada grande parte das enzimas do malte e, por esse motivo, são usados em pequenas quantidades na produção da cerveja (COELHO NETO et al., 2020).

A ativação das enzimas é de suma importância durante a etapa de cozimento, nas cervejarias. As amilases serão responsáveis pela quebra do amido que será transformado em açúcares fermentáveis. As proteases farão a quebra das proteínas presentes no mosto que serão responsáveis pela consistência da espuma e servirão de nutrientes para a levedura durante a fermentação (KUNZE, 2014).

O malte de cevada é o principal ingrediente utilizado na produção de cerveja. Além de ser fonte de amido, que irá impactar no teor alcóolico da cerveja, ele também influencia no sabor, aroma, cor e espuma da cerveja. (KUNZE, 2014). O malte deve ainda fornecer cascas, que são utilizadas como auxiliar de filtração na clarificação do mosto cervejeiro (VENTURINI FILHO, 2010). Além da cevada, outros cereais como o trigo, milho, sorgo, centeio e arroz também podem passar pelo processo de malteação e serem utilizados como adjuntos na produção de cerveja (KUNZE, 2014; VENTURINI FILHO, 2010).

Para a fabricação de diferentes tipos de cervejas utilizam-se distintos tipos de maltes e também combinações entre eles. Existem dois tipos principais de malte: os maltes base e os maltes especiais. Os maltes base fornecem os elementos essenciais, constituídos de amido/açúcares e proteínas/enzimas, necessários para a produção da cerveja. O malte mais famoso e mais consumido no mundo é o *Pilsen*, pois tem ampla aplicabilidade e bom preço, servindo de base não só para as cervejas *Pilsen* como para vários outros estilos. Além do *Pilsen*, outros exemplos de malte base são o *Pale Ale*, *Munich*, *Viena* e *Trigo Claro*. Já os maltes especiais adicionam diversidade e complexidade, contribuindo para proporcionarem modificações no aroma, sabor e cor da cerveja. Geralmente, os maltes especiais não possuem poder diastático, ou seja, não tem a capacidade de converter amido em açúcares fermentáveis; portanto, não tem como função primária ser fermentado, o que garante maior corpo às cervejas. Alguns exemplos de maltes especiais são os *Caramelos*, *Melanoidina* e os *Torrados* (PALMER, 2017; BARROS & GHESTI, 2016; AGRÁRIA, 2023).

A Tabela 2 apresenta os principais tipos de malte, suas características com os respectivos impactos no aroma e sabor da cerveja, bem como a cor esperada para cada um deles. A Figura 1 apresenta uma escala com a classificação das cores da cerveja na unidade EBC.

Tabela 2: Principais tipos de maltes e seus impactos na cerveja.

Malte	Características / Uso	Cor (EBC)
<i>Pilsen</i>	Proporciona mosto claro e brilhante. Malte base para todo tipo de cerveja.	2,5 a 4,0
<i>Pale Ale</i>	Possui baixo teor de proteína e glucanos, o que facilita a clarificação e melhora o rendimento. Possui notas de pão, frutas secas e mel.	5,5 a 7,5
<i>Viena</i>	Aumenta o corpo e proporciona uma cerveja mais dourada. Confere leve adocicado do malte, além de notas suaves de mel e nozes (amêndoas e avelã).	6,0 a 9,0
<i>Munich</i>	Com médio grau de torrefação, contribui para a intensificação da cor, além de destacar o aroma e sabor de malte. Confere intensas notas maltadas, caramelo claro, mel e casca de pão.	12,0 a 18,0
<i>Trigo Claro</i>	Contribui para o aroma típico das cervejas de trigo. Intensificação do aroma típico de alta fermentação e aroma de trigo. Notas de pão, nozes, biscoito e caramelo.	3,0 a 5,0
<i>Carahell</i>	Contribui para o aumento do corpo, mas com uma adição mínima de cor, proporcionando uma leve doçura de caramelo. Influencia positivamente na espuma da cerveja.	20,0 a 30,0
<i>Carabelge</i>	Proporciona um suave paladar de caramelo e contribui para uma coloração de mel.	30,0 a 35,0
<i>Carared</i>	Contribui para o aumento do corpo, adição de cor avermelhada e uma leve doçura de caramelo	40,0 a 60,0
<i>Biscuit Malt</i>	Proporciona um aroma de biscoito e coloração âmbar-marrom claro	50,0
<i>Melanoidina</i>	Aumenta o corpo da cerveja e melhora a estabilidade do paladar. Proporciona cor avermelhada, além de sabor maltado com notas de mel e biscoito.	60,0 a 80,0
<i>Carafa I</i> (Chocolate)	Contribui para o aumento da cor em cervejas escuras, adicionando um acentuado agradável de tostado.	800 a 1000

Fonte: Adaptado de BARROS & GHESTI (2016); AGRÁRIA (2023).

Figura 1: Classificação (escala EBC) das cores de cervejas.

EBC	4-6	4-8	10-12	12-18	20-28	33-36	37-43	43-59	59-69	69	79
COR	Palha	amarelo	Duro	Âmbar profundo, cobre	cobre	Cobre escuro	marrom	marrom escuro	marrom muito escuro	negro	Negro (opaco)

Fonte: Extraído de BARROS & GHESTI (2016).

Cabe lembrar que é no malte que está a maior fonte dos compostos fenólicos da cerveja, aqueles que podem contribuir para efeitos benéficos sobre a saúde. Durante o processamento da cerveja, parte desses compostos sofrem alterações devido as altas temperaturas às quais são submetidos. Contudo, estudos apontam que dependendo do tipo de cerveja mais de 50 classes de compostos fenólicos já foram identificadas em cervejas (DE KEUKELEIRE, 2000).

Por fim, vale apresentar algumas informações relevantes da produção de cevada e malte no Brasil que está muito distante da desejada autossuficiência. A produção de cevada no Brasil é da ordem de 425 mil ton/ano enquanto a demanda de malte cervejeiro é de aproximadamente 1.600 mil ton/ano. Cerca de 25% da cevada produzida no Brasil tem outras aplicações não cervejeiras, deixando disponível apenas 320 mil ton/ano de cevada para a produção de malte. Portanto, cerca de 80% da demanda cervejeira se dá através de importações, que no ano de 2022 representaram 650 mil toneladas de cevada e 1.272 mil toneladas de malte, que juntas impactaram negativamente a balança comercial em cerca de US\$ 964 milhões. A maior parte desta cevada e malte foi importada da Argentina e Uruguai (VILARINHO, 2023; MDIC, 2023).

3.1.1.3 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é outro ingrediente essencial para a produção de cervejas, pois é o principal responsável por conferir o aroma e o sabor amargo na cerveja (DURELLO et al., 2019).

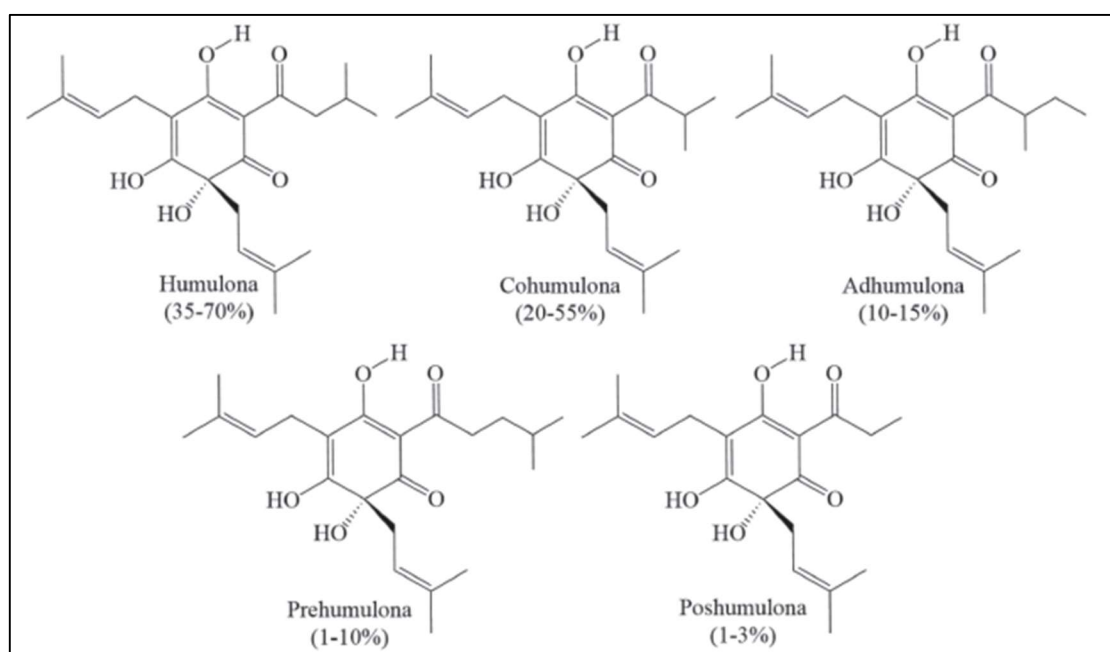
Trata-se de uma planta trepadeira, da família das *Cannabinaceae*, nativa de regiões de clima temperado. No auge do seu crescimento atinge de 6 a 8 metros de altura e apresenta na base um caule (rizoma) que cresce horizontalmente e funciona como órgão reprodutor. A planta permanece enraizada no solo durante

toda sua vida e necessita de uma estrutura para manter-se ereta e crescer em direção à luz que deve ser abundante (MORADO, 2017).

A planta macho possui pouca lupulina, acarretando em baixo rendimento de compostos aromáticos e de amargor; dessa forma, apenas as plantas fêmeas são utilizadas na produção de cerveja. Dependendo das características genéticas, as plantas podem produzir mais compostos de amargor ou de aroma (KUNZE, 2014). Nas suas flores (cones) que medem de 4 a 5 centímetros de comprimento é onde encontram-se as glândulas rica em lupulina, que possui cor amarelada e contém a presença de compostos como os óleos essenciais, polifenóis, α -ácidos e β -ácidos (OLIVEIRA, 2011).

Os óleos essenciais são os responsáveis por conferir o caráter aromático. Os polifenóis são ricos em taninos que desempenham um papel antimicrobiano na cerveja. Os α -ácidos (humulonas) e os β -ácidos (lupulonas) são os responsáveis por conferir o amargor à cerveja, sendo que os α -ácidos têm uma maior influência nessa propriedade (VENTURINI FILHO, 2010). As estruturas químicas das cinco humulonas (α -ácidos) do lúpulo estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2: Estruturas químicas dos principais α -ácidos (humulonas) do lúpulo.

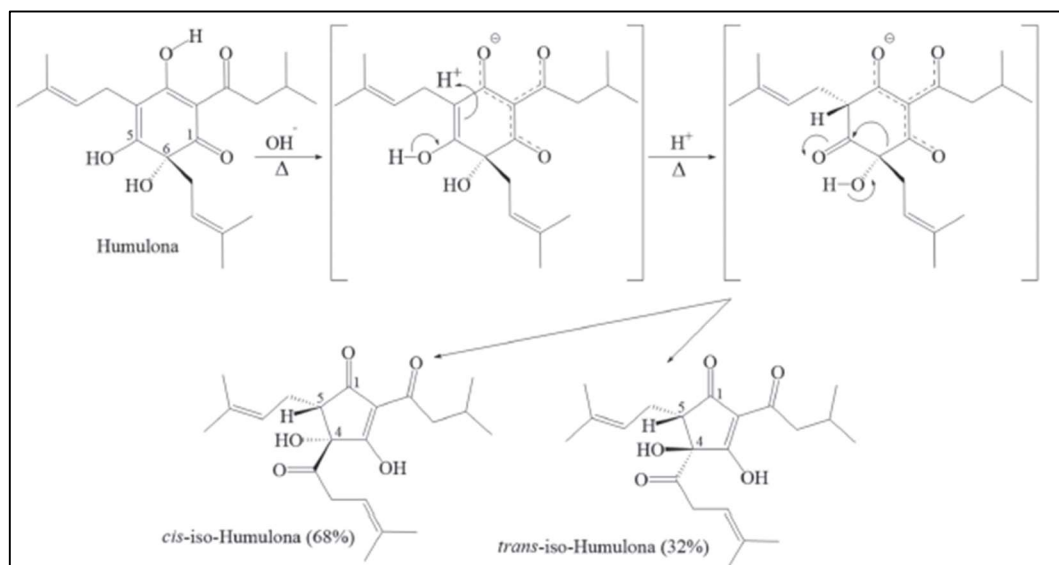


Fonte: Extraído de DURELLO et al. (2019).

Durante a fervura do mosto, etapa em que os lúpulos são adicionados, ocorre a isomerização dos α -ácidos pelo calor, produzindo os iso- α -ácidos, que são

constituídos por iso-humulona, iso-cohumulona e iso-adhumulona, responsáveis por mais de 70% do amargor detectado sensorialmente nas cervejas. (BAXTER & HUGHES, 2001; DE KEUKELEIRE, 2000; TECHAKRIENGKRAIL et al., 2004). A Figura 3 apresenta a reação de isomerização da humulona durante o processo de fervura do mosto.

Figura 3: Reação de isomerização da humulona.



Fonte: Extraído de DURELLO et al. (2019).

O teor de amargor contribuído pelo lúpulo é expresso em termos de IBU, onde uma unidade equivale a aproximadamente 1mg de iso- α -ácidos por litro de cerveja (HUTKINS, 2008).

Geralmente, os lúpulos que possuem concentração em massa superior a 10% de α -ácidos são denominados de “lúpulos de amargor” e são adicionados no início da etapa de fervura. Já os lúpulos capazes de conferir aromas característicos e intensos em função da composição química dos seus óleos essenciais são denominados de “lúpulos de aroma” e são adicionados no final da etapa de fervura para evitar as perdas dos componentes voláteis (KARABÍN et al, 2016; DURELLO et al., 2019).

A forma mais comum de comercialização do lúpulo é em *pellets*, mas também é possível adquirir o produto na forma de flores prensadas, em pó e extrato (SACHS, 2001). Os países mais importantes no cultivo de lúpulo são: Alemanha, Estados Unidos, República Tcheca, China e Ucrânia (HAMPSON, 2014). Estima-

se que cerca de 97% da produção do lúpulo mundial é destinada para fins cervejeiros (ALMAGUER et al, 2014).

Dados de 2018 apontam que o Brasil importou praticamente 100% de todo o lúpulo consumido, o que correspondeu a um total de 3,3 mil toneladas, a um custo de aproximadamente US\$ 55 milhões (MAPA, 2022). Com o crescimento do mercado das microcervejarias que valorizam produtos diferenciados aliada a esta escassez de lúpulo, o Brasil vem desenvolvendo algumas iniciativas de fomento à cadeia produtiva em território nacional. Pesquisa recente do MAPA (2022) revelou que atualmente já são 152 produtores de lúpulo localizados principalmente nas regiões Sul e Sudeste, além de 17 viveiros cadastrados no Registro Nacional de Sementes e Mudas (RENASEM).

3.1.1.4 Levedura

As leveduras utilizadas na produção de cervejas são microrganismos unicelulares pertencentes ao reino *Fungi*, geralmente do gênero *Saccharomyces*, que podem se reproduzir de forma assexuada e viverem na presença ou na ausência de oxigênio (BORTOLI et al., 2013). Em condições anaeróbicas, essas leveduras têm a capacidade de converter açúcares em etanol através do processo denominado fermentação alcoólica. Para alguns autores (VENTURINI FILHO, 2010), a levedura nem pode ser considerada uma matéria-prima, pois ela é utilizada somente como agente de transformação bioquímica dos ingredientes.

Tipos diferentes de leveduras irão produzir distintos tipos de cerveja. Isto porque durante seu metabolismo as leveduras incorporam açúcares simples, tais como glicose e maltose, produzindo etanol, dióxido de carbono, ésteres, fenóis, ácidos graxos, aldeídos e álcoois superiores. De uma forma genérica, os ésteres conferem a cerveja aromas frutados, os fenóis apresentam aroma de especiarias (cravo, canela, dentre outros), os ácidos graxos remetem a sabores rançosos e os álcoois superiores a aromas frutados, florais e de solvente. O desempenho das leveduras está ligado a conversão de açúcares em etanol e gás carbônico com baixa produção de compostos indesejados. (AQUARONE et al., 2001; HEGGART, 2000; VENTURINI FILHO, 2010).

Normalmente, as leveduras cervejeiras são divididas em dois grandes grupos que produzem dois tipos de cervejas bem distintos. Nas cervejas *Lagers*,

também conhecidas como de baixa fermentação, as leveduras ocupam principalmente as regiões mais baixas dos tanques de fermentação e apresentam melhores desempenho em temperatura entre 5°C e 15°C. Já nas cervejas *Ales*, de alta fermentação, as leveduras ocupam principalmente as regiões mais altas dos tanques e apresentam melhores desempenho em temperatura entre 18°C e 24°C (AQUARONE et al., 2001).

Conforme já descrito anteriormente, as cervejas *Ales* apresentam-se mais complexas em termos de sabores e aromas devido principalmente à maior produção de ésteres durante a fermentação. Já as cervejas *Lagers*, apresentam menores concentrações de ésteres pois a fermentação ocorre em menores temperaturas (VENTURINI FILHO, 2010).

Com o aumento do número de cervejarias artesanais e a maior demanda por cervejas especiais, tem-se observado o uso de leveduras selvagens, como as do gênero *Brettanomyces*, *Kluyveromyces*, *Candida* ou *Zygosaccharomyces*, que no passado eram utilizados apenas para produção de cervejas de fermentação espontânea. Algumas destas leveduras têm por característica realizar tanto a via fermentativa alcoólica quanto a via metabólica do ácido acético, obtendo-se, com isso, um sabor único a alguns tipos de cervejas (STEENSELS et al., 2015).

3.1.1.5 Adjuntos Cervejeiros

Com o objetivo de reduzir os custos de produção, a indústria cervejeira adiciona tradicionalmente outras fontes de carboidratos para complementar a demanda de açúcares no mosto. Esta prática sempre foi a principal razão para o uso de adjuntos, principalmente nos países que não possuem a autossuficiência em malte de cevada já que este tem um custo mais elevado quando comparado com alguns adjuntos (STEWART et al., 2017; MEUSSDOERFFER et al., 2009).

Além da redução do custo de produção, os adjuntos cervejeiros também podem ser utilizados com o intuito de aumentar o rendimento alcoólico ou produzir cores, sabores e aromas diferenciados. Trigo pode ser usado para conferir uma textura levemente viscosa à bebida, além de ajudar na formação e manutenção de espuma. O milho e o arroz, auxiliam na clareza da bebida e deixa a cerveja mais leve. Frutas e especiarias podem ser adicionadas à cerveja,

auxiliando na cor, aroma e sabor da bebida. Enquanto que a adição de açúcares e xaropes contribuem para aumentar o rendimento alcoólico (COELHO NETO et al, 2020; STEWART et al., 2017; MORADO, 2017; KUNZE, 2014).

Os cereais mais utilizados como adjunto cervejeiro são o milho, arroz, trigo e sorgo, que geralmente são adicionados na etapa de preparação do mosto cervejeiro. Destes, talvez o milho seja o principal deles, a partir do qual se produz um xarope conhecido por “*high maltose*”, considerado o adjunto mais utilizado na indústria cervejeira brasileira (DRAGONE et al., 2007).

Contudo, o emprego destes adjuntos não pode ser feito em quantidades elevadas, pois geralmente eles não contribuem com a atividade enzimática e fornecem pouco ou nenhum nitrogênio para as leveduras, o que pode gerar problemas durante a produção de cerveja. (ROSA & AFONSO, 2015).

A aveia utilizada como adjunto na receita das cervejas elaboradas neste trabalho é uma excelente fonte de proteínas. Este alto teor de proteínas pode causar turbidez na cerveja pois elas se ligam a polissacarídeos e formam complexos insolúveis. Mas, por outro lado, a maior concentração de proteínas contribui para formação e a estabilidade da espuma da cerveja, além de deixar a textura levemente viscosa (BAMFORTH, 2011; DRAGONE et al., 2007; COELHO NETO et al, 2020).

Conforme descrito anteriormente, a legislação brasileira permite que parte do malte de cevada seja substituído por adjuntos cervejeiros, mas existe uma diferenciação no nome da bebida em função da proporção de malte em relação aos demais ingredientes (BRASIL, 2019).

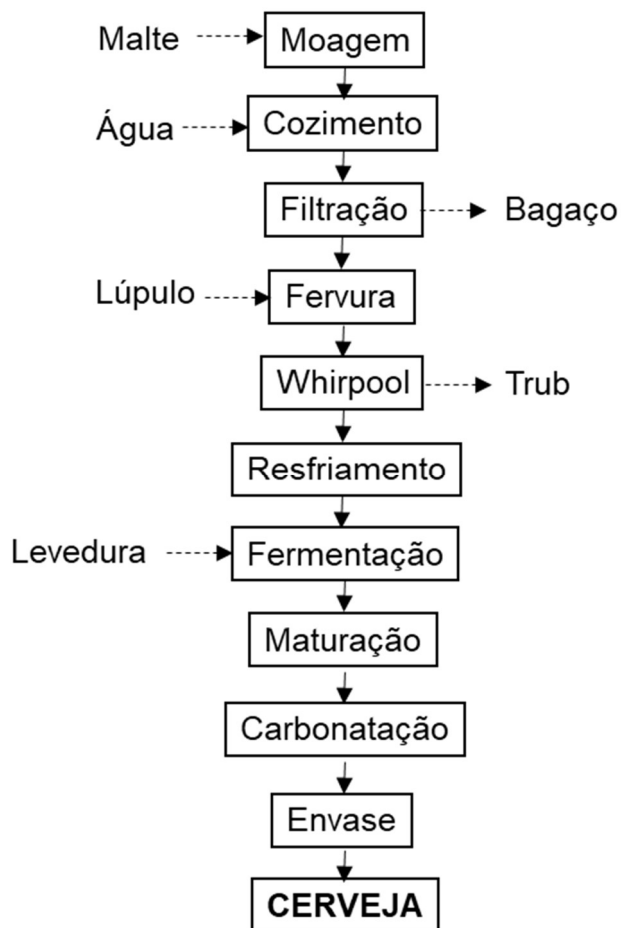
Com o aumento da demanda de cervejas especiais, o uso de adjuntos do tipo frutas, legumes e especiarias também tem aumentado consideravelmente. Estudos recentes têm apresentado que tais ingredientes apresentam uma boa aceitação no mercado, além de aumentar os benefícios para a saúde do consumidor moderado (KRONENBERGER et al, 2021).

3.1.2 Processamento

O processo de produção de cerveja pode ser dividido em dez etapas: moagem do malte, cozimento, filtração, fervura, *whirlpool*, resfriamento,

fermentação, maturação, carbonatação e envase, conforme apresentado no fluxograma da Figura 4 (TOZETTO et al., 2019).

Figura 4: Fluxograma da produção de cerveja.

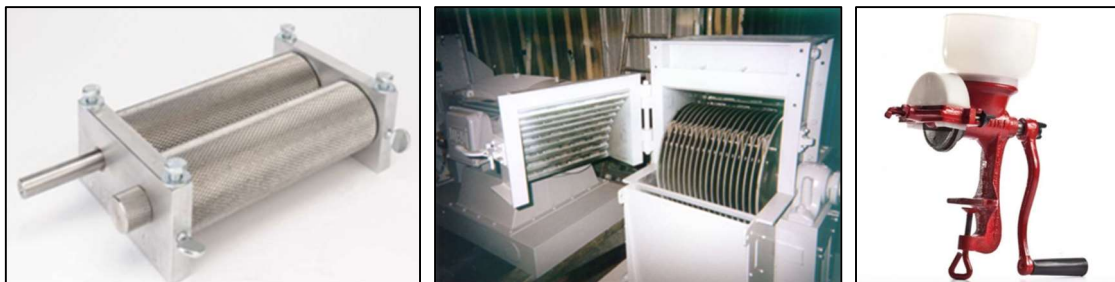


Fonte: Adaptado de TOZETTO et al. (2019).

A etapa da moagem tem por objetivo quebrar os grãos de malte, separando a casca do endosperma, a fim de garantir um melhor contato com a água na etapa seguinte. O tamanho das partículas durante a moagem é de suma importância para o processo, pois partículas muito finas (pó) favorecem o rendimento na extração dos açúcares, porém aumentam a extração de taninos que possuem sabor adstringente indesejável. Além disso, é importante que a casca permaneça mais íntegra possível, pois na etapa de filtração ela funciona como elemento filtrante. A moagem pode ser realizada de forma seca ou úmida, sendo que a umidificação do grão, deixa a casca mais maleável, favorecendo a moagem sem comprometer a estrutura da casca. Para esta etapa de produção,

as cervejarias utilizam-se de moinhos de cilindros (rolos) ou moinhos de martelos. Os cervejeiros artesanais utilizam-se de moinhos de discos devido ao menor custo (VENTURINI FILHO, 2010; SCHUINA, 2018). A Figura X apresenta imagens dos referidos moinhos utilizados no processo de moagem do malte.

Figura 5: Moinho de cilindros, moinho de martelos e moinho de discos.



Fonte: Extraído de MARCONDES (2016).

A etapa de cozimento, também chamada de brassagem ou mosturação é onde o malte e eventuais adjuntos são dissolvidos na água, visando à obtenção de uma mistura líquida açucarada, denominada de mosto cervejeiro. Trata-se de uma etapa enzimática onde o principal objetivo é garantir a hidrólise do amido em açúcares menores para posterior fermentação. Durante o cozimento é muito importante o controle de tempo e de temperatura, também conhecido como rampas de temperatura, que geralmente vão de 40°C a 72°C, com aquecimento gradual (1°C/min), em um intervalo de tempo total entre 60 e 90 minutos. Cada enzima tem uma temperatura ideal para desenvolver as reações bioquímicas desejadas. Entre 40°C e 45°C ocorre a ativação enzimática, onde as enzimas contidas no malte começam a entrar em solução. É nesta faixa de temperatura também que as enzimas β -glucanases quebram as paredes de hemicelulose do malte, permitindo que o amido seja exposto para as amilases. Entre 45°C e 55°C as enzimas proteases e peptidases quebram algumas proteínas do malte em peptídeos e consequentemente em aminoácidos, que são essenciais para a sobrevivência das leveduras. Entre 60°C e 72°C, as enzimas α -amilase e β -amilase atuam sobre a estrutura do amido, onde regulando a ação de cada uma é possível controlar o corpo e a oferta de açúcares fermentáveis. Ao término do processo são aplicadas temperaturas entre 76°C a 78°C com o objetivo de inativar as enzimas (*mash out*). Geralmente, para cada receita de cerveja, tem-

se uma rampa de temperatura diferente, embora algumas cervejas do tipo *A*/e sejam produzidas em um único estágio de temperatura próxima de 65°C (MORADO, 2017; BUSCH, 2015; PALMER, 2017; DRAGONE et al., 2007).

A Tabela 3 apresenta um resumo dos principais grupos enzimáticos que atuam na etapa de cozimento, evidenciando a temperatura e pH ideais, bem como a função de cada tipo de enzima.

Tabela 3: Principais grupos enzimáticos da etapa de cozimento.

Enzima	Temp. ideal (°C)	pH ideal	Função
β -Glucanases	40 - 45	4,5 - 5,0	Quebra paredes de hemicelulose, permitindo que o amido seja exposto para as amilases
Peptidases	45 - 55	4,6 - 5,3	Quebram proteínas e peptídeos, produzindo aminoácidos nitrogênio livres (<i>FAN-Free Amino Nitrogen</i>), que são nutrientes para as leveduras
Proteases	45 - 55	4,6 - 5,3	Quebram ligações peptídicas entre os aminoácidos das proteínas
β -Amilase	60 - 65	5,0 - 5,5	Quebra amido produzindo maltose
α -Amilase	67 - 72	5,3 - 5,7	Quebra amido produzindo uma variedade de açúcares, incluindo maltose

Fonte: Adaptado de PALMER (2017); DRAGONE et al. (2007).

Concluída a etapa de cozimento, obtém-se uma fração líquida rica em açúcares (mosto) e uma fração não solubilizada constituída basicamente da casca do malte (bagaço); que devem ser separadas por filtração. Esta etapa ocorre em recipientes contendo um fundo falso perfurado que permite a passagem do líquido e retém as cascas que funcionam como a camada filtrante do mosto, agora chamado de primário. Ao final do processo, com o objetivo de aumentar a extração dos açúcares ainda contido nas cascas, realiza-se uma lavagem com água quente, resultando no mosto secundário. A temperatura de filtração e lavagem se dá em torno de 75°C para que a viscosidade possa

favorecer a separação das referidas fases (KUNZE, 2014; VENTURINI FILHO, 2010).

A fervura é uma etapa que visa a esterilização do mosto ao inativar os microrganismos contaminantes, como bactérias e leveduras selvagens, para que não interfiram na etapa posterior de fermentação. Também é nesta etapa que ocorre a adição do lúpulo que irá sofrer as reações de isomerização e irão produzir os compostos responsáveis pelo amargor característico da cerveja. Lembrando que os lúpulos de amargor são adicionados no início da fervura enquanto os lúpulos de aroma são adicionados no final da fervura. A fervura também proporciona a evaporação de substâncias sulfurosas que podem conferir sabores desagradáveis (*off flavors*) à cerveja; promove a desnaturação proteica, garantindo a estabilidade coloidal; e, acarreta no escurecimento do mosto por conta da reação de *Maillard*. Este processo de fervura ocorre em tanque com o mosto em ebulição (próximo de 100°C), por cerca de 60 a 90 minutos, o que irá promover evaporação de água, resultando na diminuição de 4 a 8% do volume inicial de mosto. Dessa forma, também é nesta etapa que geralmente se faz o ajuste da concentração ideal do açúcar desejado para o processo de fermentação (MORADO, 2017; VENTURINI FILHO & CEREDA, 2008).

Depois de concluída a fervura é necessário remover os sólidos (*trub*) que são insolúveis e podem afetar negativamente a fermentação. Este *trub* é constituído basicamente por flocos de produtos provenientes da reação de proteínas e taninos coagulados com polifenóis. A operação de *Whirlpool* é uma espécie de hidrociclone, que devido ao fluxo circular do mosto provoca a decantação do *trub* na parte central do fundo do tanque (BOULTON & QUAIN, 2008; PALMER, 2017; WILLAERT, 2007; STEWART et al., 2017; CARVALHO, 2007).

Após a retirada do *trub*, o mosto quente deve ser resfriado de forma mais rápida possível até a temperatura de inoculação da levedura (abaixo de 27°C). Isto para que não ocorra a oxidação do mosto, a contaminação por microrganismos e nem a formação de dimetilsulfeto (DMS). Nas grandes cervejarias, este processo é realizado por meio de trocador de calor, geralmente de placas paralelas, com a água em fluxo contrário como fluido de resfriamento. Na produção artesanal, geralmente, faz-se uso da imersão de uma serpentina com fluxo de água fria (KUNZE, 2014).

Apesar de não ser essencial para o processo de produção, cabe citar que antes da inoculação do fermento, pode-se realizar a aeração do mosto a fim de reduzir a fase “lag” do processo fermentativo e melhorar a adaptação da levedura ao meio (SCHUINA, 2018).

A fermentação é a principal etapa do processo produtivo da cerveja e consiste basicamente na transformação de açúcares em etanol e dióxido de carbono (CO_2), devido a ação das leveduras em condições anaeróbicas. Essa etapa pode durar de 5 a 10 dias dependendo do estilo da cerveja, resultando em um líquido com densidade inferior à do mosto devido a presença de álcoois. Um bom indicativo de que a etapa de fermentação pode ser dada como concluída é quando ocorre a estabilização da densidade final, também conhecida por FG (do inglês, *Final Gravity*). Nesta etapa final, o borbulhamento de CO_2 fica praticamente imperceptível (DE KEUKELEIRE, 2000).

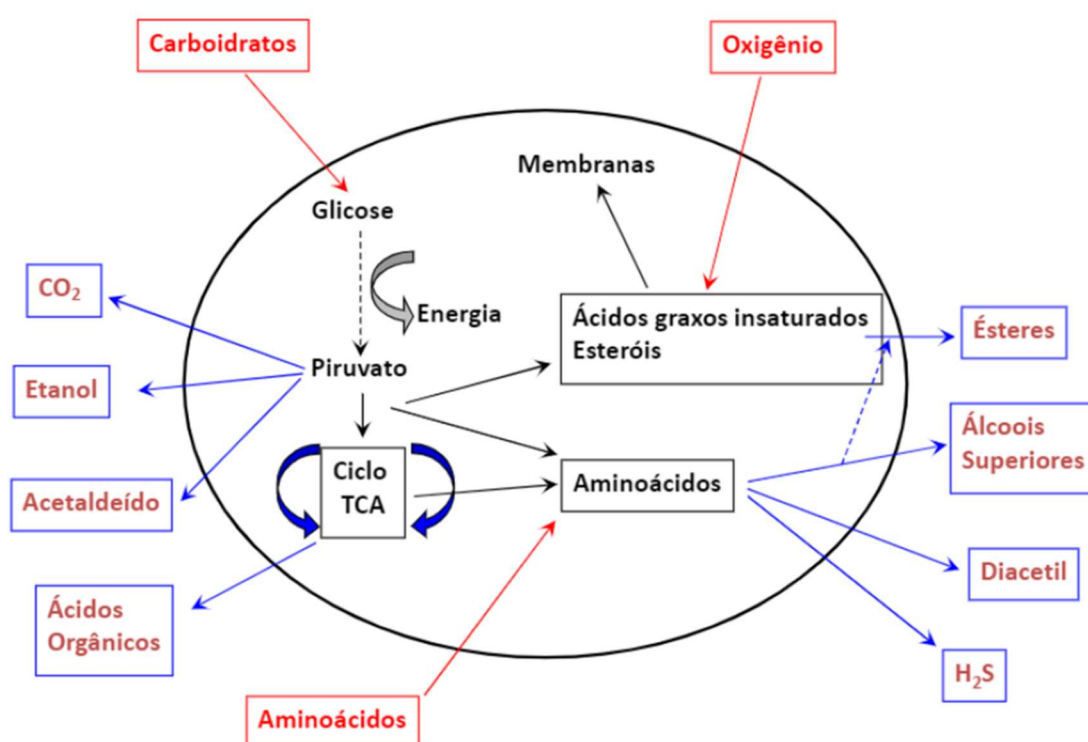
Nas indústrias de grande escala e nas microcervejarias mais estruturadas, a etapa de fermentação ocorre em tanques de aço inoxidável providos de sistema de resfriamento e de sistema de contrapressão capazes de garantir a temperatura adequada e o aproveitamento do CO_2 produzido. Na produção caseira, o CO_2 produzido durante a fermentação é removido do fermentador através da pressão interna gerada pelo gás, através de um dispositivo denominado *airlock* que evita a entrada de bactérias ou outros contaminantes por estar com a extremidade do seu tubo submersa em um recipiente contendo líquido esterilizante (FERNANDES, 2017).

A inoculação da levedura geralmente se dá geralmente na ordem de 10^7 células por mililitro (DE CARVALHO & ZAMBIAZI, 2011). No início do processo, os microrganismos ainda estão se adaptando ao meio rico em nutrientes e esta fase denominada de “lag” leva em torno de 15 horas. Em seguida, o microrganismo entra em fase de crescimento exponencial (fase “log”) devido à presença de nutrientes, o que representa o maior período da fermentação (5 a 10 dias) e acarreta na maior parte da produção de etanol e CO_2 . Com o passar do tempo, devido ao esgotamento de nutrientes e/ou por inibição pelo álcool produzido, a taxa de crescimento vai diminuindo chegando à fase estacionária, onde as leveduras ainda atuam na reabsorção de compostos que poderiam gerar aromas/sabores desagradáveis na cerveja. Em seguida, tem-se a fase de declínio, quando a taxa de crescimento é menor que a taxa de morte de células.

Dessa forma, acontece a floculação das leveduras, que após decantação pode ser devidamente recolhida e, se mantida a qualidade biológica, pode ser reutilizada em fermentações posteriores (LIVENS, 2016).

Além dos dois principais produtos (etanol e CO_2), durante a fermentação do mosto também são formados outros compostos que podem conferir aromas e sabores agradáveis (*on-flavors*) e/ou desagradáveis (*off-flavors*) à cerveja. A Figura X apresenta as principais rotas bioquímicas, bem como os principais produtos formados durante a etapa de fermentação.

Figura 6: Principais rotas bioquímicas durante a fermentação da cerveja.



Fonte: Extraído de SILVA (2019).

Após a fermentação tem-se início a etapa de maturação, cujo objetivo é aperfeiçoar os aspectos sensoriais da bebida. Dessa forma, a cerveja se tornará mais palatável, através do aumento dos compostos desejáveis, bem como pela redução dos compostos indesejáveis. A maturação ocorre em tanques fechados, muitas vezes no próprio tanque de fermentação, em temperaturas mais baixas, por volta de 0°C a 2°C , por um período mínimo de 72 horas, mas que pode se estender até cerca de 30 dias a depender do estilo da cerveja (PIMENTA et al., 2020).

Devido à baixa temperatura e consequente baixa atividade das leveduras, a maturação pode ser considerada como uma fermentação secundária, já que algumas leveduras ainda estão ativas e continuam a produzir o CO₂ que arrasta os compostos voláteis indesejáveis (DE KEUKELEIRE et al, 2000). Adicionalmente, a etapa de maturação ainda favorece a clarificação da bebida, por conta da precipitação de sólidos residuais, aumenta a quantidade do gás carbônico dissolvido e, torna a espuma mais estável no meio. Portanto, muitos cervejeiros consideram a maturação como a etapa de afinamento e de acabamento da cerveja (MORADO, 2017).

Cabe citar ainda que diversas cervejarias aproveitam a etapa de maturação para realizar uma técnica denominada de *dry hopping*, que consiste na adição de mais lúpulos em baixas temperaturas, com o objetivo de intensificar aromas e dar frescor à cerveja (MORADO, 2017).

Após a maturação, a fase seguinte conhecida como clarificação, não é uma etapa obrigatória para todos os estilos de cerveja, mas é essencial quando se deseja obter uma bebida mais brilhante e transparente (DE ASSIS et al., 2020). Geralmente, trata-se de uma filtração que utiliza terra de diatomácea como elemento filtrante, que tem a capacidade de remover as partículas coloidais e a levedura residual, mantendo a estabilidade físico-química e garantindo um aspecto visual mais atraente à cerveja. Ressalta-se que este processo pode remover uma quantidade significativa do CO₂ dissolvido além de outras substâncias que conferem corpo a bebida, fazendo com que nem todas as cervejarias optem por utilizar essa técnica (DE KEUKELEIRE et al, 2000).

Por fim, a última etapa da produção de cerveja é a carbonatação ou gaseificação, que pode variar muito em função da forma em que a bebida será envasada e comercializada. Nas grandes e micro cervejarias, a forma mais utilizada é a carbonatação forçada, que consiste na injeção direta do CO₂ de maneira artificial. Ressalta-se que este CO₂ pode ser recuperado da etapa de fermentação e/ou adquirido de empresas especializadas (VENTURINI FILHO, 2010). Já os cervejeiros artesanais utilizam uma técnica denominada *priming*, também conhecida por carbonatação natural ou refermentação, que consiste na adição de uma quantidade controlada de açúcar na garrafa onde será envasada e lacrada iniciando uma nova fermentação (com produção do CO₂) pelas leveduras residuais (COELHO NETO et al., 2020).

Após esse processo, geralmente, a bebida é envasada em embalagens como garrafas de vidro, latas de alumínio ou barris de aço inoxidável. O envase é uma etapa muito importante para a garantia da qualidade do produto, pois a escolha do recipiente vai influenciar diretamente na conservação da bebida. As grandes indústrias cervejeiras utilizam predominantemente as garrafas de vidro âmbar e as latas de alumínio como os principais recipientes de envase. Já as microcervejarias utilizam os barris de aço inoxidável como a principal forma de acondicionamento. Após o envase, geralmente, as latas e garrafas passam por um processo de pasteurização a fim de aumentar o tempo de prateleira do produto, que consiste na esterilização do líquido pela ação do calor seguido por rápido resfriamento. Já a bebida não pasteurizada, geralmente comercializada em barris de aço inoxidável, comumente conhecida no Brasil por “Chopp” não passa pela etapa de pasteurização e, portanto, apresentam menor durabilidade (MORADO, 2017).

3.1.3 Compostos Bioativos da Cerveja

Compostos bioativos são metabólitos secundários que estão presentes em diversos tipos de alimentos, principalmente, os de origem vegetal (CHEMJONG et al., 2021). Como os ingredientes da cerveja são de origem vegetal, eles contribuem para a formação de uma bebida rica em carboidratos, fibras, aminoácidos, minerais, vitaminas e compostos fenólicos (GERHÄUSER, 2005).

A água é o principal constituinte da cerveja, seguido pelo etanol. É sabido que o álcool quando consumido em excesso apresenta efeitos maléficos à saúde. Porém, seu consumo moderado está associado a efeitos benéficos no sistema cardiovascular (MARMOT & BRUNNER, 1991). Estudos indicam que a mortalidade de pessoas que ingerem cerca de 300mL de cerveja por dia (10g a 15g de álcool) é menor do que aqueles que não consomem álcool ou que excedem essa quantidade (GERHÄUSER, 2005). Além disso, a presença do álcool também contribui para aumentar a absorção dos compostos fenólicos que possuem baixa solubilidade em água (GHISELLI et al., 2000).

Os carboidratos são a principal fonte de energia do corpo humano. As fibras melhoram o trânsito intestinal. Os aminoácidos são responsáveis pela produção de energia e proteínas, além de atuarem na melhoria da memória, na resistência

física, na síntese de colágeno e de estarem associados a bons níveis de serotonina contribuindo no combate à depressão. As vitaminas mais abundantes na cerveja são as do complexo B, que possuem ação antifadiga, aumentam a eficácia de tratamentos contra infecções e diabetes, atuam no metabolismo dos carboidratos e também auxiliam na atenuação dos sintomas da depressão (COELHO NETO et al., 2020).

Quanto aos minerais presentes na cerveja, destacam-se: cálcio, sódio, potássio, magnésio e selênio. O cálcio atua na formação e manutenção dos ossos, no metabolismo energético, na coagulação sanguínea, na contração muscular, na transmissão nervosa e na função hormonal. O sódio equilibra a quantidade e a distribuição da água no corpo ajudando a regular a pressão arterial, além de ser essencial para os impulsos elétricos no sistema nervoso, a contração muscular, o equilíbrio do pH do sangue e a absorção de nutrientes. O potássio, que promove o relaxamento das artérias facilitando a circulação do sangue, neutraliza o excesso de ácido no organismo regulando o pH, ajuda na formação dos músculos e equilibra as funções do sistema nervoso. O magnésio atua na metabolização da glicose na formação da estrutura óssea e na síntese de DNA e RNA. O selênio atua no fortalecimento da imunidade e possui atividade antioxidante (COELHO NETO et al., 2020). Cabe ressaltar, que a ausência de gordura na cerveja também é outro ponto benéfico para a saúde dos consumidores moderados (TAFULO et al., 2010).

Além das substâncias supracitadas, uma classe muito importante na composição das cervejas são os compostos fenólicos, com seu reconhecido poder antioxidante, conforme será detalhado adiante.

3.1.3.1 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

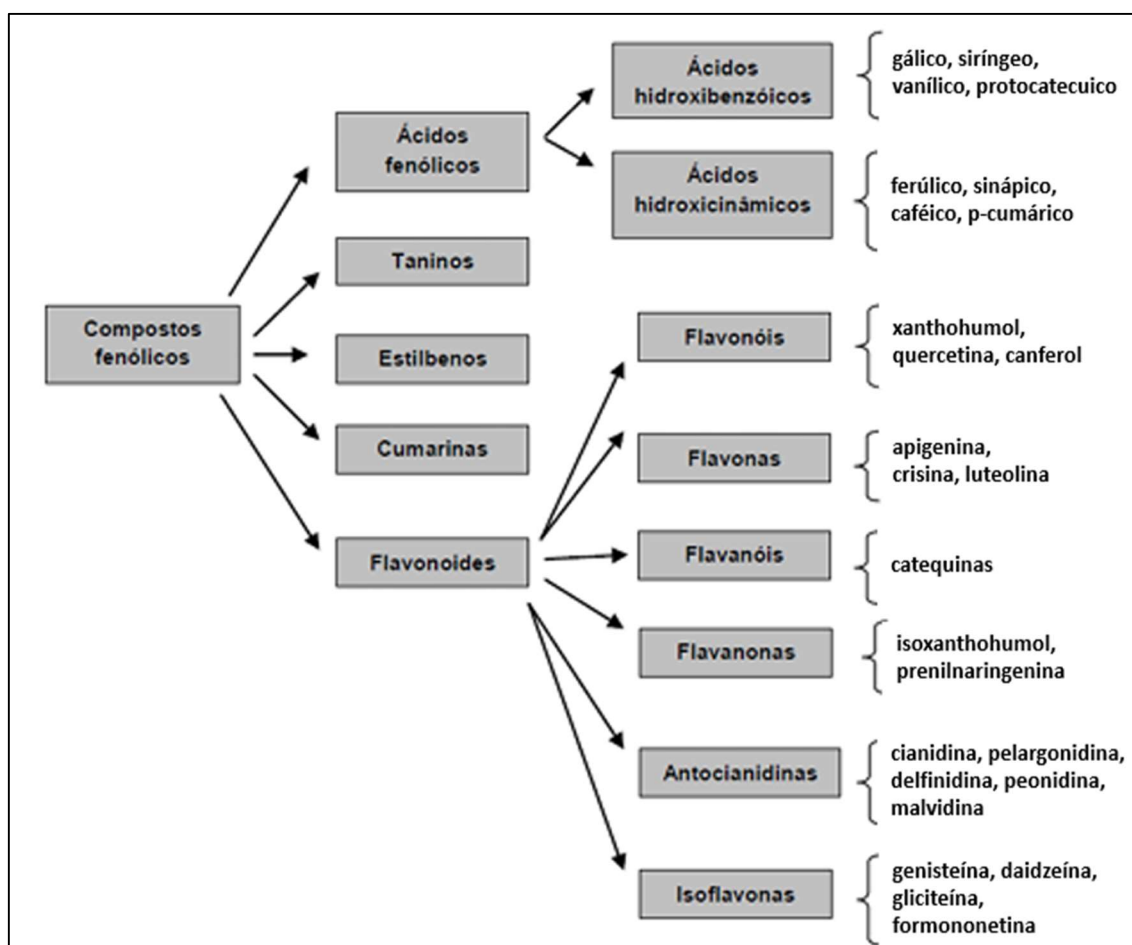
O estresse oxidativo está envolvido na patologia de várias doenças humanas, como aterosclerose, diabetes, doenças neurodegenerativas, envelhecimento e câncer. As substâncias que apresentam atividade antioxidante podem neutralizar os efeitos negativos do estresse oxidativo, devido à sua capacidade de sequestrar radicais livres que causam a oxidação do DNA das células. (WEI et al., 2001).

Os compostos fenólicos são substâncias bioativas que possuem atividades antioxidante, anti-inflamatória, antimutagênica e anticancerígena documentadas

experimentalmente (MACEDO, 2018). Eles são encontrados em diversos alimentos como frutas e vegetais. A ingestão média destes compostos é de centenas de miligramas até 1 grama por dia, dependendo dos hábitos alimentares e, em particular, do consumo de cerveja, vinho, café, chocolate e chá, que são alimentos ricos nestes tipos de compostos (NARDINI e FODDAI, 2020).

Os compostos fenólicos podem ser divididos em ácidos fenólicos, taninos, estilbenos, cumarinas e flavonoides, conforme pode ser verificado na Figura 5. Uma característica importante é que possuem em sua estrutura química um ou mais grupamentos hidroxila ligados a um átomo de carbono de um anel aromático, conforme pode ser observado nas Figura 8 e 9. (SANTHIRAVEL et al., 2022).

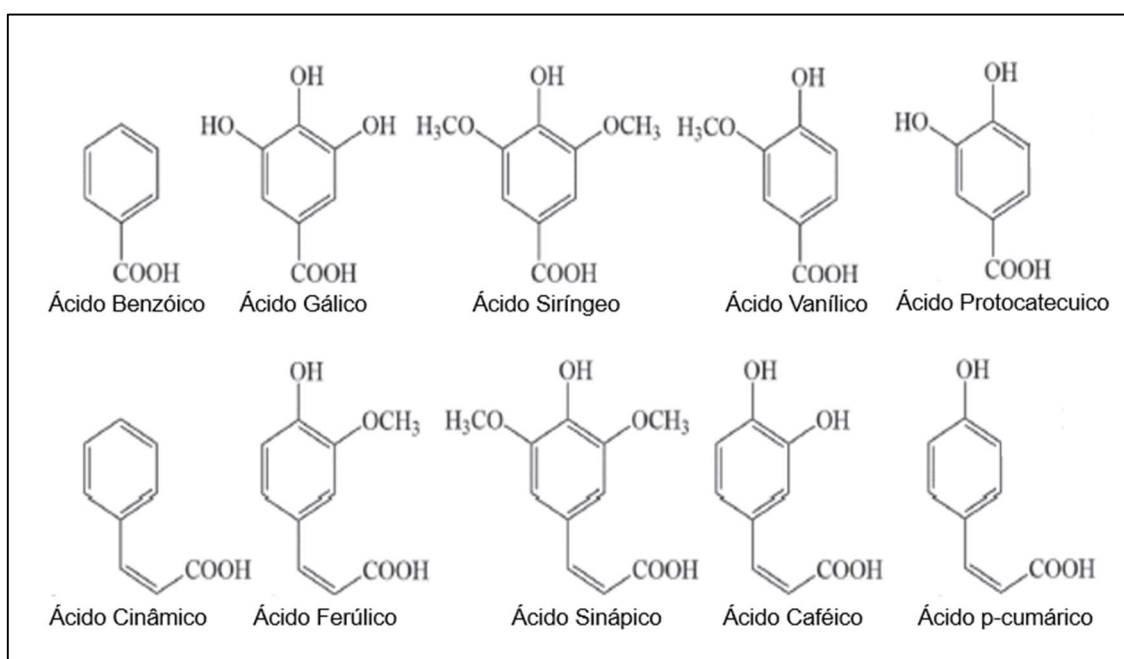
Figura 7: Principais classes de compostos fenólicos.



Fonte: Adaptado de FERREIRA & ABREU (2007).

Os ácidos fenólicos são divididos em ácidos hidrobenzóicos (ácido gálico, ácido siríngeo, ácido vanílico e ácido protocatecuico) e ácidos hidroxicinâmicos (ácido ferúlico, ácido sinápico, ácido caféico e ácido p-cumárico) e são principalmente extraídos do malte de cevada. (SHAHIDI & NACZK, 2003). A Figura 8 apresenta as estruturas químicas dos principais ácidos fenólicos encontrados em cervejas.

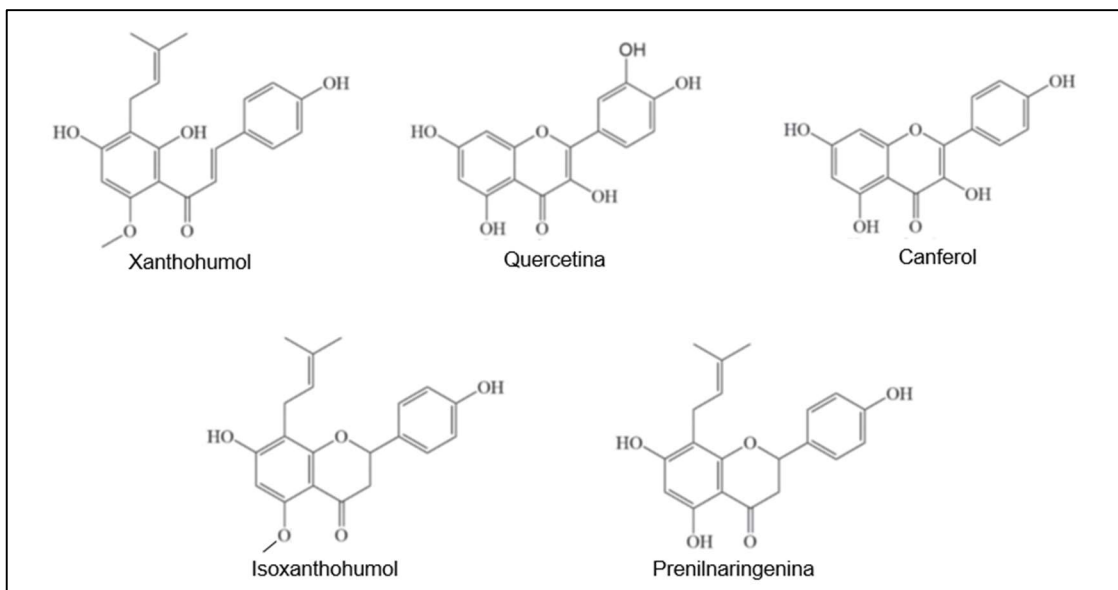
Figura 8: Estruturas químicas dos principais ácidos fenólicos.



Fonte: Adaptado de DURELLO et al. (2019).

Os flavonóides clássicos da cerveja estão divididos nos flavonóis (xanthohumol, quercetina, canferol) e nas flavanonas (isoxanthohumol e prenilnaringenina), sendo oriundos principalmente do lúpulo (SHAHIDI & NACZK, 2003). A Figura 9 apresenta as estruturas químicas dos principais flavonóides encontrados em cervejas.

Figura 9: Estruturas químicas dos principais flavonóides.



Fonte: Adaptado de DURELLO et al. (2019).

Tanto na cerveja como em outros alimentos, os ácidos fenólicos e os flavonóides são os compostos fenólicos que mais se destacam na dieta humana. Na cerveja, cerca de 70%-80% dos compostos fenólicos são originados do malte, enquanto os 20%-30% restantes vêm do lúpulo. Os grãos de malte apresentam o ácido ferúlico como o composto fenólico encontrado em maior quantidade, seguido dos ácidos p-cumárico e vanílico. Já o lúpulo apresenta o xanthohumol e seu isômero isoxanthohumol como os flavonóides que estão presentes em maior quantidade (GERHÄUSER, 2005).

Contudo, a composição final dos compostos fenólicos na cerveja depende da qualidade da matéria-prima utilizada (malte e lúpulo), do processo de produção e da adição de algum ingrediente diferenciado. Estudos conduzidos por NARDINI & FODDAI (2020) indicaram que a quantidade de compostos fenólicos totais é da ordem de centenas de mg/L de cerveja, sendo que a adição de ingredientes diferenciados (frutas variadas, noz, castanha, coco, café, cacau, dentre outros) aumentaram em até 270% o teor destes compostos fenólicos.

O composto antioxidante é uma substância que quando presente em baixa concentração comparada à do substrato oxidável, diminui ou inibe consideravelmente a oxidação daquele substrato (FREITAS, 2006). A atividade antioxidante da cerveja é similar à do vinho, tendo como vantagem a maior concentração de vitaminas e proteínas, associada a um menor teor alcoólico,

sendo cerca de 2-6% e 10-15%, respectivamente (GERHÄUSER, 2005; DE KEUKELERIE, 2000).

Devido à sua capacidade antioxidante e baixo teor alcoólico, a cerveja é capaz de melhorar a atividade antioxidante do plasma, reduzindo o risco de doenças coronarianas, sem apresentar os aspectos negativos produzido por altas doses de etanol. Portanto, por possuir alta concentração de compostos antioxidantes, o consumo moderado de cerveja é capaz de influenciar positivamente o nível de lipídeos do plasma e sua capacidade anticoagulante (GHISELLI et al., 2000).

3.1.4 – Compostos Voláteis da Cerveja

O aroma e o sabor das cervejas estão diretamente relacionados com a presença dos compostos voláteis na bebida. Estes compostos definem o aspecto sensorial e até mesmo a preferência dos consumidores por determinado estilo de cerveja. (AQUILANI et al, 2015).

Os principais compostos orgânicos voláteis (VOCs, do inglês, *Volatiles Organic Compounds*) que formam a estrutura do aroma das cervejas são os álcoois, os ácidos carboxílicos e os ésteres. Outros compostos que também contribuem para o aspecto sensorial da cerveja são os aldeídos, cetonas, compostos sulfurosos, substâncias terpênicas e alguns hidrocarbonetos (PORTO, 2023).

A fermentação é a etapa em que a maioria destes compostos são formados, mas eles também podem ser oriundos das matérias-primas e do armazenamento da cerveja (BLAZON, 2008). Durante a fermentação, as leveduras utilizam os carboidratos e aminoácidos contidos no mosto para produzir esses compostos secundários. Dessa forma, além do etanol e do gás carbônico, as leveduras também produzem substâncias organolépticas que determinam as características sensoriais da cerveja (BOULTON & QUAIN, 2008).

Os álcoois que possuem mais de dois átomos de carbono são denominados álcoois superiores e são produzidos quando as leveduras metabolizam aminoácidos como fonte de nitrogênio (PINTO NETO, 2019). Assim como o etanol, eles contribuem para um aroma alcoólico na cerveja. Os álcoois

superiores mais comumente encontrados em cervejas são o isoamílico, propílico, isobutílico e fenetílico (SAERENS et al., 2008).

Além dos álcoois superiores, os ácidos orgânicos (ácidos carboxílicos) também são compostos formados pelo metabolismo das leveduras e que podem influenciar no sabor e aroma das cervejas. Os ácidos orgânicos de cadeia curta ($< C_6$) são produzidos por leveduras a partir de aminoácidos e contribuem para o aumento da acidez (diminuição do pH) das cervejas. Os ácidos graxos de cadeia média (C_6 - C_{12}) resultam do anabolismo de ácidos graxos de cadeia longa sob condições anaeróbicas e/ou são liberados pelo mecanismo de autólise celular. Os ácidos graxos de cadeia longa ($> C_{12}$) se originam principalmente do mosto. Os ácidos podem contribuir tanto positiva quanto negativamente no aroma de cervejas. Os ácidos de cadeia média, como os ácidos hexanóico, octanóico e decanóico são descritos por suas características de aroma rançoso, enquanto que para o ácido nonanóico foi atribuído aroma floral, frutado e doce (PEREIRA et al., 2021; SAERENS et al., 2008; PORTO, 2023).

Os ésteres são formados por meio da esterificação dos álcoois com os ácidos carboxílicos. São os compostos mais importantes na composição do aroma da cerveja e agregam aspecto frutado e floral à bebida (PINTO NETO, 2019). Os tipos e as quantidades de ésteres formados dependem, dentre outros fatores, da cepa da levedura e da temperatura da fermentação. As cervejas do tipo *A*/e geralmente apresentam maiores concentrações quando comparadas às cervejas do tipo *Lager* (PORTO, 2023). Os ésteres são essenciais para a caracterização de uma boa cerveja, entretanto, em concentrações elevadas, podem gerar sabor amargo e frutado em excesso.

Na categoria de compostos carbonílicos, aqueles que mais se destacam são os aldeídos e as cetonas. Alguns aldeídos são considerados produtos remanescentes da fermentação, como o acetaldeído, que é o principal aldeído presente na cerveja e que possui aroma de maçã verde (BIAZON, 2008). Outros aldeídos se devem a reações relacionadas ao envelhecimento da cerveja como o metilbutanal com aroma de banana verde, o nonenal que remete à papel molhado e o furfural com aroma de amêndoas (BIAZON, 2008). Já as cetonas vicinais são formadas quando o tempo de descanso do diacetil é insuficiente, ou seja, quando a fase inicial da maturação foi interrompida precocemente não permitindo que tais substâncias fossem consumidas bioquimicamente pelas

leveduras ainda existentes na bebida. O diacetil (2,3 butanodiona) é o principal representante desta classe e confere um aroma amanteigado na cerveja (DA SILVA et al, 2015).

Os compostos sulfurosos apresentam aromas intensos e mesmo em baixas concentrações já são suficientes para interferir no aspecto sensorial das cervejas. A grande maioria também se forma durante a fermentação, mas alguns podem ter origem no malte ou no lúpulo. O DMS (dimetilsulfeto) confere um aroma de vegetais cozidos. O ácido sulfídrico (H_2S) e o dióxido de enxofre (SO_2) são importantes para a estabilidade da espuma, sendo que o primeiro contribuiu negativamente com aroma de ovo podre enquanto o segundo pode mascarar positivamente a presença de outros *off-flavors*. O p-menta-8-tiol-3-ona pode ter origem em contaminação externa e confere um aroma indesejável que remete à urina de gato. O metilbutenotiol (MBT) ocorre quando a cerveja é exposta à luz, sendo considerado um *lightstruck* e contribuindo para um *off-flavor* que remete ao odor de gambás (BIAZON, 2008; DURELLO et al., 2019; PORTO, 2023).

Os compostos terpênicos são compostos químicos que ocorrem naturalmente em diversas plantas, sendo o lúpulo, o maior responsável pela presença deles nas cervejas. Os terpênicos estão presentes nos óleos essenciais do lúpulo e proporcionam uma grande variedade de aromas e sabores como o cítrico, eucalipto, floral, amadeirado, frutado, dentre outros. Quimicamente podem ser divididos em hidrocarbonetos terpênicos (monoterpenos e sesquiterpenos) e em terpenos oxigenados (álcoois, cetonas, ácidos e ésteres). Os monoterpenos de maior prevalência no óleo essencial do lúpulo são o β -mirceno (aroma herbáceo) e os sesquiterpenos. Os sesquiterpenos que apresentam maior relevância são o α -humuleno (notas de amadeirado), o β -cariofileno (amadeirado e especiarias) e o β -farneseno (amadeirado, cítrico e doce). Dentre os álcoois terpênicos os que mais se destacam são o linalol (aroma floral-frutado), geraniol (aroma de rosas), citronelol (aroma de limão) e nerol (rosa doce), além dos álcoois sesquiterpênicos nerolidol, α -bisabolol e humulol (DURELLO et al., 2019; BIAZON, 2008).

Assim, a Tabela 4 apresenta uma relação dos principais compostos voláteis que contribuem com o *flavor* da cerveja, agrupados nas referidas classes químicas, bem como a descrição do aroma e sabor que cada um agrega à bebida.

Os demais compostos que estão agrupados em “Outros”, quando presentes na cerveja, se devem principalmente à contaminação e/ou contato com determinadas substâncias (BARNES, 2011). O cloroanisol, que remete ao aroma de mofo, pode ser causado por contaminação microbiana (fungos). O clorofenol confere aroma hospitalar e pode ter origem no cloro da água ou em produtos de limpeza à base de cloro. E, o sabor metálico pode ter origem no contato da cerveja com substâncias metálicas ou pode derivar do processo de oxidação. (BARNES, 2011).

Tabela 4: Principais compostos voláteis da cerveja e seus aromas e sabores.

Composto Volátil	Aroma/Sabor
Álcoois:	
Etanol	Alcoólico
n-propanol	Alcoólico; Solvente
Metil-butanol (isoamílico)	Banana, Vinoso; Doce
Feniletanol (álcool fenetílico)	Floral; Rosas; Perfume; Amargo
Ácidos carboxílicos:	
Ácido etanóico (acético)	Ácido; Vinagre; Adstringente
Ácido propanóico (propílico)	Ácido; Vinagre; Leite
Ácido butanóico (butírico)	Rançoso; Vômito
Ácido metil-butanóico (isovalérico)	Rançoso; Queijo; Suor; Lúpulo velho
Ácido hexanóico (caprílico)	Óleo vegetal; Suor
Ácido octanóico (caprílico)	Queijo de cabra; Sebo
Ácido decanóico (cáprico)	Aroma de bode
Ésteres:	
Acetato de etila	Doce; Verniz
Acetato de isoamila	Banana; Pera; Frutado
Acetato de fenetila	Rosas; Mel; Doce
Butirato de etila	Frutas tropicais; Abacaxi
Hexanoato de etila	Maçã; Frutas; Doce
Octanoato de etila	Maçã; Frutas; Doce
Decanoato de etila	Caprílico; Frutado; Doce

Carbonílicos:	
Etanal (Acetaldeído)	Maça verde
Metilbutanal	Banana verde
Hexanal	Gramíneo
Nonenal	Papel molhado
2,3 Butanodiona (Diacetil)	Manteiga
2,3 Pentanodiona (Acetilpropionil)	Manteiga; Caramelo
Sulfurosos:	
Dimetilsulfeto (DMS)	Legumes Cozidos; Milho Doce
Sulfeto de hidrogênio (gás sulfídrico)	Ovo Podre
3-Metil-2-buten-1-ol (MBT)	Gambá
p-Menta-8-ol-3-ona	Urina de gato (catty)
Dimetil-trisulfeto (DMTS)	Cebola
Terpênicos:	
β -Mirceno	Balsâmico; Herbáceo
α -Humuleno	Amadeirado; Especiarias
β -Cariofileno	Amadeirado; Especiarias
β -Farneseno	Amadeirado; Cítrico; Doce
Linalol	Floral; Frutado
Geraniol	Rosas; Floral
Citronelol	Limão; Lima
Nerol	Rosa doce
Nerolidol	Rosa; Cítrico
α -Bisabolol	Floral
Óxido de humuleno	Cedro
Outros:	
Clorofenol	Hospitalar; Esparadrapo
Cloroanisol	Mofo
Sulfato ferroso	Metálico

Fonte: Elaboração própria a partir de COELHO NETO et al. (2020); PORTO (2023); BIAZON (2008); BARNES (2011); DURELLO et al. (2019).

A presença desses compostos nas cervejas depende de muitos fatores, sobretudo daqueles relacionados às condições de fermentação, da natureza da

fonte de carboidratos, da disponibilidade de nitrogênio, da linhagem de levedura utilizada, além daqueles relacionados à alguma falha no processo de produção/estocagem ou devido à alguma contaminação microbiana. (BIAZON, 2008).

Estes compostos podem influenciar positiva ou negativamente na qualidade final do produto, sendo que aspectos desejáveis para um estilo de cerveja podem ser considerados imperfeições para outro (PORTO, 2023). Portanto, mesmo os compostos que conferem aroma e sabor agradáveis (*on-flavors*), que são essenciais para as características aromáticas da cerveja, quando estão presentes em grandes quantidades podem ser considerados *off-flavors* (BIAZON, 2008).

3.2 ESPECIARIAS

A fim de apresentar as características e propriedades das especiarias utilizadas na cerveja deste estudo, segue abaixo uma revisão bibliográfica de cada uma delas.

3.2.1 Cúrcuma

A *Cúrcuma longa*, cujo nome popular é açafrão-da-terra ou cúrcuma é uma planta herbácea, perene, caracterizada por apresentar grande rizoma ovoide com tubérculos, folhas grandes elípticas que podem alcançar até 1,2 metro de comprimento e flores esbranquiçadas ou amareladas de 10 a 15 centímetros de comprimento (NOGUEIRA, 2018).

O gênero cúrcuma contém cerca de setenta espécies. A *Cúrcuma longa* é a espécie mais estudada e é originária da região da Índia e do Sudeste Asiático, onde é amplamente cultivada até os dias atuais. Foi introduzida nas Antilhas e regiões temperadas da Europa. No Brasil, foi introduzida nos tempos coloniais e é cultivada ou encontrada como subespontânea em vários estados (NETTO JR., 1999).

O rizoma tem sido utilizado desde a antiguidade como condimento, corante e estimulante aromático, com destaque também para o crescente uso nos mercados de perfumaria, medicinal e têxtil. Quando recém-cortado, o rizoma

possui cheiro agradável, similar ao gengibre e sabor picante ligeiramente amargo (NGUYEN et al., 2013).

A cúrcuma é utilizada como corante alimentar e constitui um dos principais componentes do *curry*, uma mistura de condimentos, tais como: pimenta, coentro, canela, gengibre, cravo-de-cheiro, cardamomo, cominho e noz moscada. Deve ser usada com moderação, já que em altas doses, pode provocar efeito irritativo sobre a mucosa gástrica (ALONSO, 2016).

O interesse maior na planta é atribuído ao composto fenólico conhecido como curcumina, que encontra-se presente na proporção de 3-5%, e é o responsável pelos efeitos antioxidante, anti-inflamatório, anticarcinogênico, antifúngico, antimicrobiano, imunomodulador e hiperglicêmico (AL-SULTAN, 2003; NGUYEN et al., 2013).

Em um estudo desenvolvido por NOGUEIRA (2018), foi possível observar os benefícios obtidos com o tratamento fitoterápico a base de cúrcuma associado a reeducação alimentar. Uma paciente com histórico de obesidade, diabetes tipo 2, hipertensão na família, dores atribulares e insônia, após mudança do hábito alimentar e à conduta fitoterápica com cúrcuma, relatou ausência das dores articulares, melhora da disposição, redução de gases e significativa perda de peso. Portanto, pode-se verificar que o uso da cúrcuma no tratamento da obesidade, associado a uma dieta equilibrada para perda de peso, é eficiente, com resultados significativos.

3.2.2 Pimenta do Reino

A pimenta preta, pimenta-da-índia ou pimenta-do-reino (*Piper Nigrum*) é uma especiaria indiana introduzida no Brasil através de imigrantes japoneses na década de 1930 (CHU, 2006). É classificada como uma planta perene, da família das piperáceas, estando inserida no grupo dos alimentos estáveis, capaz de conferir estabilidade em relação à ação de microrganismos (LIMA, 2002).

Dentre as especiarias, a pimenta preta ocupa uma posição de destaque e é reconhecida como a "Rainha das Especiarias", por possuir múltiplas aplicações funcionais, tais como: formulações alimentares tradicionais, perfumaria, medicina tradicional e até em cuidados de beleza (SURESH et al., 2007).

O sabor da pimenta preta deve-se à presença do alcaloide piperina e do óleo volátil, juntamente com as oleorresinas (ZACHARIAH et al., 2010). O uso do óleo essencial de pimenta preta, além de agregar valor nutricional aos produtos, serve como agente ativo para prolongar a vida útil de alimentos, atuando como um conservante natural de alimentos (DE MELO et al., 2021).

No Brasil, a pimenta preta geralmente é comercializada em grãos secos ou moída, sendo comumente utilizada para fins culinários (DUARTE, 2006). Devido ao seu alto teor de compostos fenólicos, a pimenta do reino é uma especiaria capaz de melhorar o stress oxidativo. Uma preocupação atual da humanidade é o aumento das doenças cardiovasculares, diabetes, doenças inflamatórias e cancro. Diversos estudos em animais apontam que o uso da pimenta preta atua como agente preventivo de tais doenças, devido ao seu alto poder antioxidante (SZALLASI, 2005; POLITEO et al., 2006).

A piperina facilita a digestão e reduz o tempo de passagem dos alimentos no intestino, melhorando a estimulação das enzimas digestivas e a secreção de saliva. Além desta função gástrica, a piperina atua na proteção do fígado e na melhoria da absorção de certos nutrientes e medicamentos. Um exemplo deste aumento de absorção é a curcumina, cuja a biodisponibilidade aumenta em cerca de 2000% quando associada com a pimenta preta. A piperina é altamente fotossensível e não pode ser exposta diretamente a luz (SHOBA, 1998).

3.2.3 Canela

A canela (*Cinnamomum Zeylanicum*) é uma das especiarias mais importantes e populares utilizadas em todo o mundo. Considerada a eterna árvore da medicina tropical, a canela pertence à família das *Lauraceae*. Admite-se que cerca de 250 espécies já foram identificadas entre o gênero canela, com árvores espalhadas por todo o mundo. É extraída da casca interna das árvores pertencentes ao gênero *Cinnamomum*, que é uma planta tropical e perene (RANASINGHE et al., 2013; RAO & GAN, 2014).

A canela é utilizada principalmente nas indústrias de aromas e essências devido à sua fragrância, que pode ser incorporada em diversas variedades de alimentos, perfumes e medicamentos. Como exemplo, cabe citar o uso da canela para dar sabor às gomas de mascar devido aos seus efeitos refrescantes na

boca e à capacidade de remover o mau hálito. Todas as partes da canela, incluindo casca, folhas, flores, frutos e raízes, têm usos tanto medicinais quanto culinários (SANGAL, 2011; VANGALAPATI et al., 2012).

A canela contém principalmente óleos essenciais e outros derivados, como cinamaldeído, ácido cinâmico e cinamato. Os óleos obtidos de diferentes partes da planta variam em composição química, sugerindo diferentes efeitos farmacológicos. Embora compartilhem hidrocarbonetos em proporções variadas, os constituintes primários, como cinamaldeído (casca), eugenol (folha) e cânfora (raiz), diferenciam esses óleos. Portanto, a canela oferece uma variedade de óleos com características distintas, cada um deles com valor específico em diversas indústrias (RAO & GAN, 2014; SANGAL, 2011).

Além de suas aplicações na culinária, a medicina tradicional considera a canela como um remédio para problemas respiratórios, digestivos e ginecológicos. Apresenta capacidade antioxidante, anti-inflamatória, antidiabética, antimicrobiana, anticancerígena, hipolipemiante e redutora de doenças cardiovasculares. A canela também tem atividades contra distúrbios neurológicos, como as doenças de Parkinson e Alzheimer (GRUENWALD et al., 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste estudo foi a de desenvolvimento de produto, mediante atividade experimental, com abordagem qualitativa e quantitativa para avaliação dos principais parâmetros analíticos da cerveja.

4.1 MATÉRIAS PRIMAS E FORMULAÇÕES

Inicialmente, foi necessário escolher o estilo da cerveja que combinasse com a proposta da adição de especiarias. Em consulta ao guia BJCP (2021), foi verificado que o estilo *Belgian Blond Ale* era o que mais se adequava à adição de cúrcuma, pimenta do reino e canela.

Este estilo (*Belgian Blond Ale*) é um tipo de cerveja belga, dourada, de teor alcoólico moderado, com agradável complexidade cítrica e condimentada, oriundas da levedura, que deixa na boca um suave maltado, com final macio e seco. Apresenta um aroma maltado de intensidade de leve a moderada que remete a cereais levemente tostado. O sabor é levemente adocicado que remete a açúcar caramelizado ou doçura de mel. O amargor é médio, com sabor leve de lúpulo que pode ser terroso ou picante. A maioria dos exemplos comerciais apresentam teor alcóolico na faixa de 6,5% a 7,0%, amargor na faixa de 15 a 30 IBU e a cor compreendida entre 8 e 14 EBC (BJCP, 2021).

O processo de elaboração das cervejas iniciou-se em julho do ano de 2022 e as bateladas foram realizadas ao longo do período que se estendeu até agosto de 2023. As matérias-primas cervejeiras foram adquiridas no “*Sampler Brew House*”, loja especializada em produtos cervejeiros, localizada na cidade de Petrópolis, Estado do Rio de Janeiro.

Foi adquirido malte tipo *Pilsen* e malte *Melanoidina*, ambos da fabricante Agrária; lúpulo *Fuggie*, da marca *Barth Haas*; e, levedura *Abbaye*, do produtor *Lalbrew/Lallemand*. Os maltes foram adquiridos já na forma moída e utilizados no mesmo dia da moagem. A aveia foi misturada juntamente aos maltes, mas sem necessidade de estar moída. A Figura 10 apresenta as matérias primas utilizadas na elaboração das cervejas.

Figura 10: Matérias primas utilizadas na produção das cervejas.



Fonte: Autor (2022).

As especiarias (cúrcuma, pimenta do reino e canela) e o açúcar foram adquiridos na “Casa Pedro”, loja especializada em especiarias e produtos naturais, também localizada no município de Petrópolis. Optou-se pelo uso da cúrcuma em pó, da pimenta do reino em grão, e da canela em casca, conforme pode ser verificado na Figura 11.

Figura 11: Especiarias utilizadas nas cervejas: cúrcuma, pimenta e canela.



Fonte: Autor (2022).

O processo de produção é basicamente o mesmo das cervejas tradicionais, ressaltando que as especiarias foram adicionadas na etapa final da fervura. A Tabela 5 apresenta as concentrações das especiarias utilizada em cada formulação de cerveja.

Tabela 5: Amostras das cervejas e concentrações das especiarias.

Amostra de Cerveja	Cúrcuma (g/L)	Pimenta (g/L)	Canela (g/L)
CT (controle)	0	0	0
A	0,5	0,5	0,5
B	1,0	1,0	1,0
C	2,0	2,0	2,0

Fonte: Autor (2022).

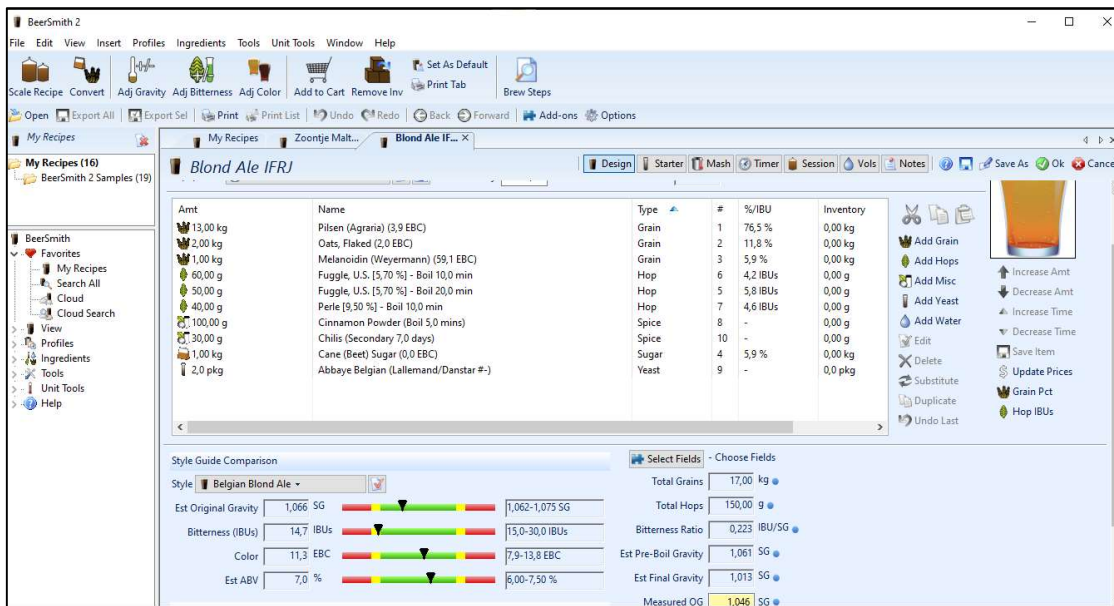
4.2 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS DE CERVEJA

Para a elaboração da receita da cerveja foi utilizado o *software* cervejeiro *BeerSmith*, que indicou as seguintes quantidades de matérias primas para uma produção de 25 litros.

- Malte *Pilsen*: 6,5 kg
- Aveia: 1 kg
- Malte *Melanoidina*: 500 g
- Açúcar refinado: 500 g
- Lúpulo *Fuggle*: 1 pacote de 50 g
- Levedura *Abbeye* (liofilizada): 1 pacote de 11 g

Para esta receita, o referido *software* simulou a seguinte previsão de resultados dos principais parâmetros da cerveja: teor alcoólico de 7,0% (v/v); cor de 11,3 EBC; e, amargor de 14,7 IBU; conforme pode ser verificado na Figura 12. Tais parâmetros estão bem próximos do estilo *Belgian Blond Ale* descrito no guia BJCP (2021).

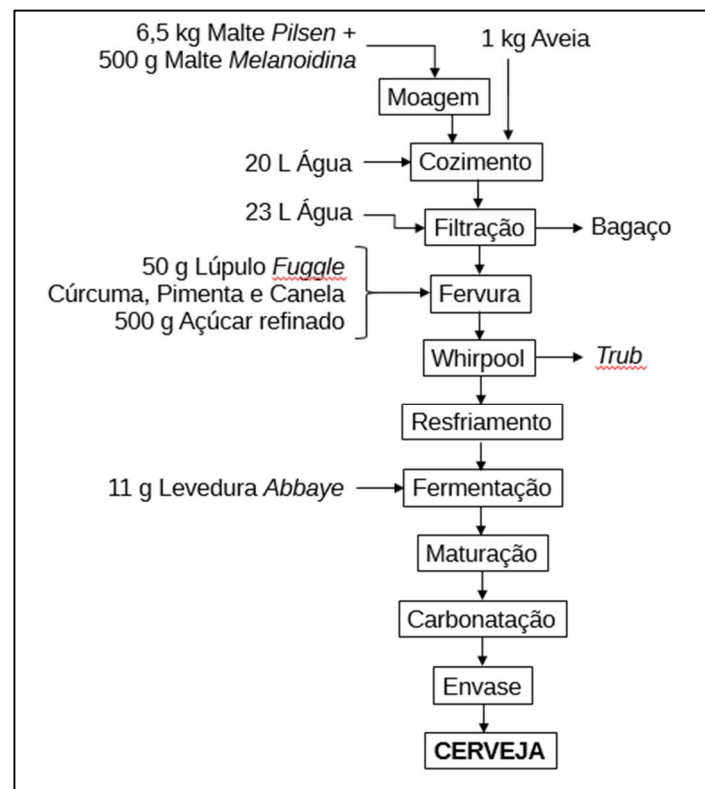
Figura 12: Tela do software *BeerSmith* com a receita da *Belgian Blond Ale*.



Fonte: Autor (2022).

O processo de produção das cervejas foi o mesmo daquele já descrito no Capítulo 3.1.2 e está devidamente apresentado na Figura 13, que também apresenta as quantidades e as etapas onde os insumos foram adicionados.

Figura 13: Fluxograma para produção de 25 litros das cervejas.



Fonte: Autor (2022).

Assim, as quatro cervejas supracitadas foram produzidas em escala de bancada utilizando-se de equipamento amplamente utilizado pelos cervejeiros caseiros, do tipo *single vessel*, fabricado pela “Casa Olec”, destinado à produção de 25 litros. Tal equipamento é constituído de uma panela confeccionada em aço inoxidável, dotada de fundo falso, com sistema de aquecimento por meio de resistência elétrica, provida de sistema de circulação do tipo “chuveirinho” (saída pelo fundo e retorno pelo topo) e com o controlador de temperatura interligado com a resistência elétrica; conforme mostrado na Figura 14.

Foram produzidas 02 (duas) bateladas de 25 litros, em dois dias consecutivos, onde cada batelada gerou aproximadamente 12,5 litros de mosto de cada amostra. No primeiro dia, o volume de mosto foi dividido em 02 (duas) partes iguais, sendo uma destinada à “cerveja controle” e a outra parte destinada à “amostra A”. No segundo dia, o volume de mosto também foi dividido em 02 (duas) partes iguais, sendo uma parte destinada à “amostra B” e a outra parte destinada à “amostra C”.

Figura 14: Equipamento utilizado na brassagem (*single vessel*).



Fonte: Autor (2022).

Em cada dia de brassagem, os maltes e a aveia foram misturados à 20 litros de água filtrada/declorada, a uma temperatura controlada de 50°C, que foi mantida por 10 minutos, com o sistema de circulação em operação. Em seguida, a panela foi aquecida para 64°C, por 50 minutos, mantendo o sistema de circulação em operação. Cabe lembrar que na temperatura de 50°C busca-se uma maior atividade das enzimas proteases da aveia e na temperatura de 64°C

busca-se a maior atividade das enzimas amilases dos maltes. Ao término do cozimento/brassagem, confirmado através do teste com iodo, a temperatura foi elevada para 78°C (*mash out*), por 10 minutos, a fim de inativar as enzimas e diminuir a viscosidade do mosto. A Figura 15 apresenta o final da etapa de cozimento/brassagem, bem como o resultado do teste de iodo.

Figura 15: Etapa de brassagem e teste de iodo.



Fonte: Autor (2022).

A etapa seguinte foi a filtração do bagaço que foi realizada com o içamento do fundo falso, onde o bagaço ficou retido, seguido pela lavagem com 23 litros água filtrada/declorada, aquecida a 78°C. Esta lavagem tem por objetivo maximizar a extração de açúcares dos grãos de malte a fim de aumentar o rendimento do processo.

Após a retirada do bagaço, o volume de mosto foi dividido em 2 (duas) partes iguais e transferidos para 2 panelas de aço inoxidável para realizar a fervura de cada amostra. Cada panela foi colocada sobre uma placa de aquecimento elétrico e com o auxílio de um ebulidor portátil, o mosto foi aquecido para aproximadamente 100°C em um tempo total de 60 minutos. Como os volumes inicialmente previstos (25 litros) foram reduzidos à metade, as quantidades de lúpulo e açúcar também foram reduzidas na mesma proporção. Dessa forma, cada panela de fervura recebeu 15 gramas do lúpulo no início da fervura e restante do lúpulo (10 gramas finais) adicionadas aos 50 minutos da fervura. O açúcar (250g por panela) e as especiarias (quantidade variadas de acordo com as formulações A, B e C) também foram adicionadas quando faltavam 10 minutos para o término desta etapa. A Figura 16 apresenta a panela de fervura, etapa onde foram adicionadas as especiarias, o lúpulo e o açúcar.

Figura 16: Panela de fervura, com a adição de lúpulo, açúcar e especiarias.



Fonte: Autor (2022).

Em seguida, o mosto foi decantado através da técnica *whirlpool*, que consiste na agitação vigorosa do mosto com o auxílio de uma pá cervejeira. Esta etapa visa a decantação de constituintes vegetais do lúpulo e das especiarias a fim de minimizar a presença de sólidos no mosto. Este material decantado, conhecido por *trub* foi retirado da panela e o mosto foi direcionado para o resfriamento.

O resfriamento do mosto foi realizado através da imersão de uma serpentina (chiller) de aço inoxidável, cuja água fria, garantida por meio de gelo, circulava pelo interior da serpentina, resfriando o mosto até aproximadamente 22°C. A Figura 17 apresenta uma imagem da pá utilizada e do sistema de resfriamento.

Figura 17: Pá utilizada no *Whirlpool* e serpentina para resfriamento.



Fonte: Autor (2022).

Após o resfriamento, cada mosto foi transferido para uma bombona plástica atóxica, onde a levedura foi adicionada (inoculada) para o início da etapa de fermentação, ressaltando que cada bombona recebeu metade do pacote de levedura liofilizada. A Figura 18 apresenta a transferência do mosto da panela para a bombona plástica, bem como a adição (inoculação) da levedura.

Figura 18: Transferência para bombona e inoculação da levedura.



Fonte: Autor (2022).

As bombonas de fermentação eram dotadas do dispositivo *air-lock* e de tampa de vedação que garantiam a condição anaeróbica, a saída do gás carbônico e o impedimento da entrada de contaminantes. As bombonas foram colocadas no interior de uma geladeira, dotada de ajuste de temperatura, que ficou controlada em 18°C, conforme pode ser visto na Figura 19.

Figura 19: Bombonas contendo mostos fermentando/maturando em geladeira.



Fonte: Autor (2022).

Após cinco dias, com amostragens diárias para acompanhamento da densidade, a fermentação foi dada como encerrada quando a FG (densidade final) ficou constante. A bebida foi transferida para outra bombona análoga, e em seguida, reduziu-se a temperatura da mesma geladeira para 0°C a fim de iniciar a etapa de maturação. Esta etapa teve duração de 10 dias.

Finalizada a maturação, as cervejas foram envasadas em pequenos barris (*Keg*) de aço inoxidável, com capacidade de 10 litros, sem efetuar qualquer tipo de filtração/clarificação. Com o auxílio de um cilindro contendo CO₂ pressurizado, a cerveja foi carbonatada forçadamente até atingir e estabilizar na pressão de 1,8 kgf/cm², conforme pode ser visto na Figura 20. Os barris ficaram armazenados em geladeira e as amostras de cervejas foram envasadas em garrafas de vidro âmbar ou garrafas plásticas de PET (*growler*), também mantidas em geladeira até o uso nas análises.

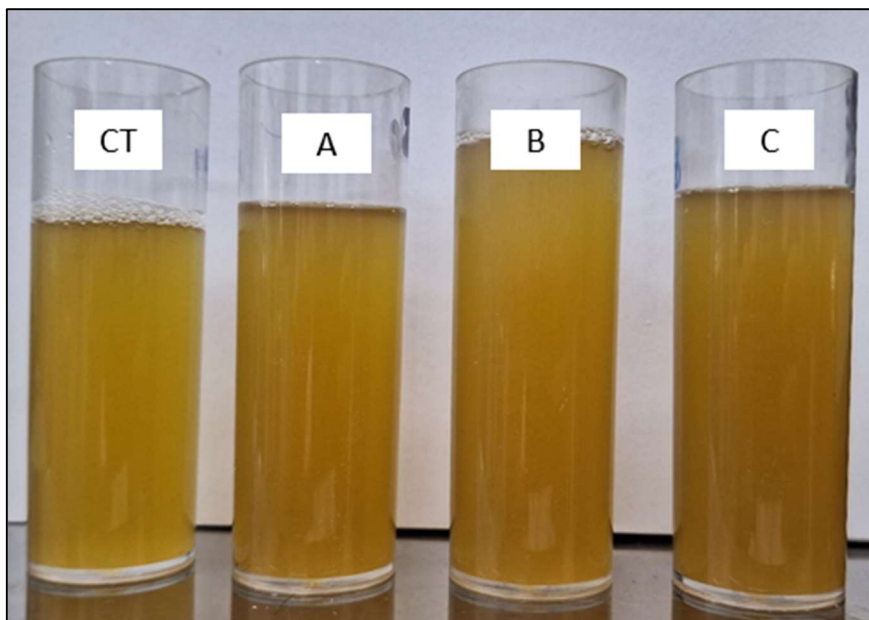
Figura 20: Carbonatação forçada em *Kegs* de aço inoxidável.



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2931553346>

Cabe ressaltar que todo equipamento utilizado na produção e armazenamento das cervejas foi submetido a esterilização e lavagem com ácido peracético e/ou álcool 70%, conforme preconizado pelas boas práticas de produção. A Figura 21 apresenta uma imagem das amostras das cervejas produzidas.

Figura 21: Amostras das cervejas produzidas.



Fonte: Autor (2022).

4.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

Para caracterizar as amostras das cervejas produzidas foram realizadas análises instrumentais no “Laboratório Físico Químico de Alimentos”, na “Planta Piloto Cervejeira” e no “Laboratório de Análise Instrumental”, todos localizados no *campus* Maracanã do IFRJ.

4.3.1 Análises Físico-Químicas

Os parâmetros físico-químicos convencionais (teor alcóolico, densidade, extrato primitivo, extrato aparente, extrato real, valor energético, amargor, cor e pH) foram analisados conforme abaixo descritos.

4.3.1.1 Teor Alcoólico, Densidade, Extratos e Valor Energético

Todas estas análises foram realizadas diretamente no analisador Alcolyzer, da marca *Anton Paar*, modelo DMA 4500. Antes de inserir a amostra de cerveja no vial do equipamento, a mesma foi devidamente descarbonatada e climatizada a 20°C. A Figura 22 apresenta uma imagem do *Alcolyzer*.

Figura 22: Aparelho *Alcolyzer* utilizado nas análises de cervejas.



Fonte: Autor (2023).

Após a análise, o referido *Alcolyzer* é capaz de expressar diretamente os resultados do teor alcoólico (em diferentes unidades de concentração), densidade, extrato real, extrato aparente, extrato original e calorias, conforme pode ser visto na Figura 23.

Figura 23: Tela do *Alcolyzer* após análise da cerveja.

▶ Sample Name:	c#1
▶ Density Condition:	valid
▶ Alcohol (% v/v):	6.93 %v/v
▶ Density:	1.01184 g/cm ³
▶ Alcohol (% w/w):	5.40 %w/w
▶ Er (real extract) (% w/w):	5.92 %w/w
▶ Ea (app. extract) (% w/w):	3.49 %w/w
▶ p (original extract) (% w/w):	16.16 °Plato
▶ Calories (kJ/100 mL):	248.42 kJ/100ml

Fonte: Autor (2023).

4.3.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A análise de pH foi realizada pelo método potenciométrico com a amostra previamente descarbonatada e estabilizada a 20°C. A leitura foi feita em um medidor de pH da marca *Incoterm*, modelo PHB-550. Para tanto, imergiu-se o eletrodo em alíquota de aproximadamente 200mL de cerveja e o resultado foi obtido por leitura direta no próprio equipamento. A Figura 24 apresenta uma imagem análoga do pHmetro utilizado nas análises das cervejas.

Figura 24: Aparelho pHmetro utilizado nas análises de pH.



Fonte: <https://www.forlabexpress.com.br/>

4.3.1.3 Cor

A medição da cor da cerveja foi realizada através de um colorímetro do tipo comparador, da marca *Lovibond*, da Série 3000, conforme mostrado na Figura 25. O instrumento compara diretamente a amostra líquida com dois discos padrões contendo cores variadas em um painel. Para tanto, deve-se inserir a amostra líquida no recipiente apropriado e girar os discos para obter o resultado conforme escala indicada nos próprios discos. Segundo o manual do fabricante, os padrões de vidro plano de coloração permanente não desbotam com a exposição contínua à luz e sempre fornecem resultados precisos e confiáveis.

Figura 25: Colorímetro utilizado nas análises de cor.



Fonte: Autor (2023).

4.3.1.4 Amargor

Para determinação do amargor da cerveja, utilizou-se o método preconizado pela Convenção de Cervejeiros da Europa (*Analytica EBC, section 9, method 9.8, Bitterness of beer*). Para tanto, pipetou-se 10 mL da amostra de cerveja descarbonatada para um *Erlenmeyer* de 125 mL, adicionou-se três pérolas de vidro, 0,5 mL de HCl 6N e 20 mL de isooctano. O *Erlenmeyer* foi levado para uma mesa agitadora por 20 minutos, a 125,5 rpm. Deixou-se em repouso por 10 minutos e coletou-se o sobrenadante (fase do isooctano) para leitura em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 275 nm, com o uso de uma cubeta de quartzo de 10 mm. Os resultados de amargor foram calculados através da equação abaixo e expressos em unidades de IBU.

$$\text{Amargor} = \text{Abs}_{\text{em } 275 \text{ nm}} * 50$$

A Figura 26 apresenta o espectrofotômetro UV-visível, da marca Biospectro, modelo SP-220, que foi utilizado para a determinação do amargor das cervejas.

Figura 26: Espectrofotômetro utilizado nas análises de amargor.



Fonte: Autor (2023).

4.3.2 Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante

A fim de verificar se a adição das especiarias contribuiu para o aumento dos compostos fenólicos e para o aumento da atividade antioxidante, as cervejas elaboradas foram analisadas conforme as técnicas abaixo descritas.

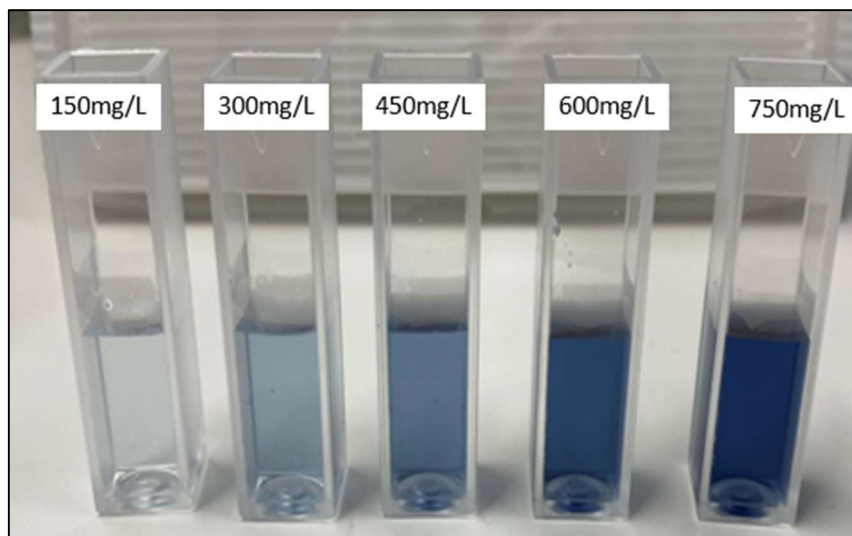
4.3.2.1 Compostos Fenólicos

Para a análise dos compostos fenólicos totais da cerveja foi utilizada a técnica do reagente de *Folin-Ciocalteu* (mistura de fosfomolibdato e fosfotungstato), proposto por Singleton e Rossi (1965) e relatado em GRANATO et al. (2011). O reagente *Folin-Ciocalteu* consiste de uma mistura de ácidos no qual o molibdênio e o tungstênio encontram-se no estado de oxidação 6+, que na presença de certos agentes redutores, como os compostos fenólicos se reduzem formando molibdênio azul e tungstênio azul.

Para tanto, uma alíquota de 0,5 mL da amostra da cerveja foi diluída com água destilada até completar um volume final de 25 mL. Em seguida, adicionou-se 2,5 mL do reagente de *Folin-Ciocalteu* e esperou-se por 2 minutos. Adicionou-se 2 mL de carbonato de sódio (7,5% v/v), homogeneizou-se com o auxílio do vórtex e levou-se ao banho-maria pré-aquecido a 50°C, por 15 minutos. Após 1 hora ao abrigo da luz, a leitura foi feita no mesmo espectrofotômetro da Figura 26, no comprimento de onda de 760 nm.

O teor dos compostos fenólicos totais foi determinado pela absorbância das amostras em relação à equação da reta obtida na curva de calibração construída com soluções de ácido gálico variando de 150 a 750 mg/mL; conforme pode ser verificado na Figura 27. Os resultados foram expressos em mg EAG/L (equivalente ácido gálico por litro) de cerveja.

Figura 27: Amostras de ácido gálico para determinação da curva padrão.



Fonte: Autor (2023).

4.3.2.2 Atividade Antioxidante (AA)

Para a análise da atividade antioxidante (AA) da cerveja foi utilizada a técnica do radical estável DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil). Por não se tratar de um ensaio *in vivo*, o termo mais aconselhado para a técnica é a capacidade antioxidante. Este método é baseado na diminuição da absorbância causada pela mudança na intensidade da cor da solução contendo DPPH. O elétron do nitrogênio na molécula de DPPH dá a ela uma coloração púrpura que, por ação de um antioxidante, vai se reduzindo à DPPH-H, se tornando incolor (TAFULO et al., 2010).

A capacidade antioxidante das cervejas foi determinada pelo método proposto por BRAND-WILLIAMS et al. (1995) que está devidamente relatado em GRANATO et al. (2011). Resumidamente, trata-se de misturar uma alíquota de 25µL de cerveja (diluída 10 vezes em água) à 900µL de metanol e à 5,0µL de uma solução de DPPH metanólico (10,0 mmol/L). A reação ocorreu no escuro por 30 minutos, a 25°C, e a redução do DPPH pôde ser visualizada pela mudança de cor. As leituras foram realizadas no comprimento de onda de 517nm utilizando o mesmo espectrofotômetro da Figura 26.

O resultado da capacidade antioxidante foi expresso em percentual de inibição do radical DPPH, através da equação:

$$\% \text{ de inibição do radical DPPH} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{amostra}}}{\text{Abs}_{\text{controle}}} \right) * 100$$

4.3.3 Compostos Voláteis

A micro extração em fase sólida acoplada à cromatografia gasosa em linha com a espectrometria de massas (MEFS-CG-EM) tem se mostrado uma técnica eficiente para a determinação de compostos orgânicos voláteis (ANDERSON et al., 2021).

A cromatografia gasosa (CG) permite a separação dos componentes de amostras complexas. A espectrometria de massa (EM) é uma técnica onde o detector é capaz de identificar moléculas por meio da avaliação de fragmentos formados a partir da razão massa/carga dos diversos componentes previamente separados no processo cromatográfico. A microextração em fase sólida (MEFS) é uma técnica de extração e concentração dos componentes voláteis de uma amostra. Em comparação às extrações líquido-líquido tradicionais, após a otimização do método, a técnica apresenta a vantagem de ser mais rápida, repetitiva e de permitir maior tempo de vida útil das colunas cromatográficas, além de não gerar descarte de resíduos ao meio ambiente. (DA SILVA et al., 2015; BORTOLETO & GOMES, 2020).

Todas as análises de compostos voláteis deste trabalho foram realizadas em um cromatógrafo gasoso acoplado à espectrometria de massas (CG-EM), da marca *Agilent Technologies*, modelo 7890A-5975C, com amostrador e com *liner* apropriado para análises de MEFS, conforme mostrado na Figura 28.

Foi utilizado o método desenvolvido por DA SILVA et al. (2015), através de análises por MEFS-CG-EM, com um amostrador/extrator automático CTC *Combi Pal Sampler* tipo XYZ com compartimento que promove o controle da temperatura e agitação para ativação da fibra e extração no espaço sobre a amostra (do inglês, *headspace*), em frasco fechado.

Figura 28: Cromatógrafo gasoso utilizado nas análises de voláteis.



Fonte: Autor (2022).

A análise de compostos voláteis foi realizada tanto nas especiarias quanto nas cervejas, a fim de verificar de forma qualitativa, quais dessas substâncias, presentes nas especiarias, foram ou não incorporadas nas cervejas produzidas. Para tanto, cerca de 1 grama de cada amostra de cervejas foi transferida para frascos de 20 mL. Os frascos foram tampados com septo de PTFE/silicone e tampa de rosca de alumínio. Todas as extrações foram realizadas utilizando uma fibra com 50/30 μm de espessura com Divinilbenzeno / Carboxen / Polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS). Após o tempo de equilíbrio de 20 minutos à 80°C com agitação de 500 rpm, o septo que recobre o frasco de *headspace* foi perfurado com a agulha da seringa, contendo a fibra. A fibra ficou exposta no *headspace* da amostra permitindo a adsorção dos voláteis por 30 minutos, na temperatura de 80 °C.

As condições cromatográficas adotadas foram: injeção por fibra, sem razão da divisão de fluxo da fase móvel no injetor (do inglês, *splitless*), temperatura do injetor de 260 °C; fluxo da fase móvel de 1 mL min⁻¹; programação do forno cromatográfico, 45 °C por 5 minutos, com rampa de temperatura de 10° C min⁻¹ até 80°C, seguido de nova rampa a 5 °C min⁻¹ até 240 °C segurando por 15 minutos; coluna CP-Wax 52 CB 30 m x 0,25 mm x 0,25 μm e detector EM com intervalo de massa 40-400 m/z.

A composição das amostras foi determinada a partir dos espectros de massas das amostras com auxílio do software *Agilent Mass Hunter Qualitative Analysis* (Agilent Technologies versão B.04.00), utilizando como referência a biblioteca de espectros NIST 11. Os componentes foram identificados ainda de acordo com índice de retenção linear de cada substância, calculado a partir de um padrão de calibração de alcanos de 8 a 40 carbonos (padrão *Sigma*, 40147-U) por meio da equação de *Van der Dool and Kratz*. (DA SILVA et al., 2015)

4.4 ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial tinha por objetivo avaliar qual das cervejas produzidas apresentou a preferência e a melhor aceitação do público consumidor.

O projeto de análise sensorial foi aprovado pelo comitê de ética do Instituto Federal do Rio de Janeiro, conforme certidão em Anexo. O termo de consentimento livre esclarecido (TCLE), bem como as fichas de avaliação se encontram no Apêndice A.

A análise foi realizada no “Laboratório de Análise Sensorial de Alimentos”, também localizado no *campus* Rio de Janeiro do IFRJ, no período compreendido entre 24 e 27 de outubro de 2023. Os provadores foram direcionados às cabines individuais onde cerca de 50 mL de cada amostra, cada uma codificada por números de três dígitos aleatórios, foram servidas em copos plásticos, em sequência aleatória, na temperatura de aproximadamente 5°C, alternadamente com copo d’água mineral e biscoito de água e sal para enxágue e restabelecimento do paladar. A Figura 29 apresenta a imagem de uma cabine de análise sensorial com as amostras das cervejas.

Na ficha de avaliação, cada provador informou sua idade, sexo, frequência de consumo de cerveja e o tipo de cerveja que costuma consumir.

O teste de aceitação foi aplicado para avaliar os atributos aparência, aroma, sabor, espuma e a impressão global de cada amostra de cerveja produzida, baseado em uma escala hedônica estruturada de nove pontos, na qual 9 representa “gostei muitíssimo” e 1 “desgostei muitíssimo”.

Também foram avaliadas a intenção de compra através de escala estruturada de cinco pontos, na qual 5 representa “certamente compraria” e 1 “certamente não compraria”.

Figura 29: Cabine de análise sensorial.



Fonte: Autor (2023)

Apenas como registro de um dado histórico do IFRJ, cabe ressaltar que a cerveja com adição de cúrcuma, pimenta e canela teve uma aceitação tão boa nesta comunidade que foi a receita escolhida para ser a primeira batelada produzida na “Planta Piloto Cervejeira”. Esta produção se deu ao longo no mês de junho de 2023 e a inauguração oficial desta unidade ocorreu no dia 08 de julho de 2023. A Figura 30 apresenta uma imagem desta “Planta Piloto” que ainda contribuirá com muitas pesquisas relacionadas com este tema.

Figura 30: Planta Piloto Cervejeira do IFRJ, *campus* Rio de Janeiro.



Fonte: Autor (2023)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras das quatro cervejas produzidas foram submetidas às análises descritas no capítulo anterior e estão devidamente apresentadas a seguir.

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS CERVEJAS

As Tabelas 6 e 7 mostram os resultados das análises físico-químicas convencionais, ressaltando que os ensaios foram realizados em triplicatas e os valores apresentados são relativos à média e ao desvio padrão. Os dados foram tratados através de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação múltipla das médias (Tukey), em nível de 5% de significância ($p < 0,05$), com o auxílio do software estatístico XLSTAT 2022, versão “5 for Windows”.

Tabela 6: Resultados das análises físico-químicas realizadas no *Alcolyzer*.

Amostra	Teor alcoólico (% v/v)	Densidade (g/cm ³)	Ext. Primitivo (° Plato)	Ext. Real (% m/m)	Ext. Aparente (% m/m)
CT	6,20 ^a ± 0,05	1,0142 ^a ± 0,00004	15,44 ^a ± 0,02	6,27 ^a ± 0,03	4,08 ^a ± 0,02
A	6,92 ^b ± 0,02	1,0126 ^b ± 0,00005	16,33 ^{ab} ± 0,01	6,12 ^b ± 0,01	3,69 ^b ± 0,01
B	6,83 ^b ± 0,10	1,0124 ^c ± 0,00003	16,12 ^{ab} ± 0,17	6,04 ^c ± 0,03	3,64 ^c ± 0,01
C	6,90 ^b ± 0,03	1,0119 ^d ± 0,00003	16,12 ^b ± 0,04	5,92 ^d ± 0,01	3,50 ^d ± 0,01

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

CT = cerveja controle. A, B e C: cervejas com adição de especiarias conforme Tabela 5
Letras iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 7: Resultados das demais análises físico-químicas.

Amostra	Cont. Energ. (KJ/100mL)	pH	Cor (EBC)	Amargor (IBU)
CT	237,1 ^a ± 1,4	4,24 ^a ± 0,01	26,00 ^a ± 0,00	14,35 ^a ± 0,41
A	251,4 ^b ± 0,3	4,26 ^{ab} ± 0,01	26,33 ^{ab} ± 0,58	17,72 ^b ± 0,50
B	247,9 ^c ± 2,8	4,25 ^{ab} ± 0,01	26,67 ^{ab} ± 0,58	20,52 ^c ± 0,95
C	247,8 ^c ± 0,6	4,28 ^b ± 0,04	27,00 ^b ± 0,00	30,50 ^d ± 0,48

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

CT = cerveja controle. A, B e C: cervejas com adição de especiarias conforme Tabela 5
Letras iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Pelos resultados apresentados na Tabela 6 percebe-se que o teor alcoólico das cervejas produzidas ficou próximo do teor alcoólico geralmente encontrado nas cervejas do estilo *Belgian Blond Ale*. Segundo o guia BJCP, a maioria das cervejas deste estilo apresentam teor alcoólico na faixa entre 6,5% (v/v) e 7,0% (v/v). Apenas a “Cerveja CT” apresentou resultado ligeiramente inferior, ressaltando que não houve variação estatística entre as cervejas que receberam as especiarias.

VIEIRA et al. (2016) desenvolveram cerveja artesanal do estilo *Blond Ale* com adição de pimenta rosa e encontraram teor alcoólico variando entre 4,05% (v/v) e 4,50% (v/v), a depender da concentração de pimenta adicionada. COSTA et al. (2019) desenvolveram cerveja estilo *Blond Ale* com adição de polpa de abacaxi e encontraram teor alcoólico de 5,24% (v/v). Portanto, ambos estudos com cervejas do estilo *Blond Ale* resultaram em teores alcoólicos consideravelmente abaixo do esperado para o referido estilo.

Outro ponto que se observa é que a adição das especiarias resultou no aumento do teor alcoólico das cervejas produzidas. Apesar de não ter uma relação linear com as concentrações de especiarias, percebe-se que o teor alcoólico das cervejas com especiarias foi de 10,1% a 11,6% maior que a Cerveja CT. Admite-se que este fato se justifica devido à adição de açúcares fermentáveis presentes nas especiarias e que contribuíram para um maior teor alcoólico das cervejas. Em consulta à central de dados alimentares (FDC, do inglês, *Food Data Central*), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, do inglês, *United States Department of Agriculture*), é possível verificar que a cúrcuma contém 3,2% (m/m), a canela 2,2% (m/m) e a pimenta 0,6% (m/m) de açúcar, aproximadamente.

NUNES FILHO et al. (2021) também desenvolveu cervejas com adição de especiarias (açafrão, pimenta negra e lúpulo aromático) resultando em teores alcoólicos que ficaram compreendidos entre 3,1% menor e 2,6% maior que a cerveja controle, embora o estilo desenvolvido foi o *Red Ale*. VALENTIM et al. (2021) desenvolveram cerveja *American Pale Ale* com adição de umbu-cajá e canela e encontraram teor alcoólico de 4,63% (v/v) enquanto MESQUITA et al. (2020) desenvolveram cerveja estilo *German Pilsen* com adição de cravo e

canela e encontraram teor alcoólico de 5,2% (v/v); embora não tenham comparado com cervejas controles.

Os resultados da densidade apresentaram variação estatística e ficaram compreendidos entre 1,0119 g/cm³ e 1,0142 g/cm³. É sabido que à medida que a fermentação vai evoluindo, o teor de açúcar diminui, o teor de álcool aumenta e a densidade da bebida tende a diminuir (BARBETTA, 2015). Assim, quando comparamos os resultados da densidade com o teor alcoólico das cervejas percebe-se a referida correlação. Ou seja, a “Cerveja CT”, de menor teor alcoólico, foi a que apresentou o maior valor de densidade. As cervejas *Blond Ale* de VIEIRA et al. (2016) apresentaram densidade variando entre 1,011 g/cm³ e 1,014 g/cm³ enquanto a cerveja do mesmo estilo de COSTA et al. (2019) apresentou densidade de 1,0107 g/cm³; portanto, próximos dos encontrados neste trabalho.

A legislação brasileira (IN 65/2019 do MAPA) define extrato primitivo como “a quantidade de substâncias dissolvidas (extrato) no mosto que deu origem à cerveja”. Este valor deve ser sempre maior ou igual a 5,0% em peso e também utiliza a unidade grau Plato (°P) como forma de expressar o resultado correspondente ao percentual em peso. Trata-se de um parâmetro muito dependente do estilo e da receita da cerveja produzida (COELHO NETO et al., 2020). As análises de extrato primitivo das cervejas apresentaram variação estatística entre a “Cerveja CT” e a “Cerveja C”, resultando em valores que ficaram compreendidos entre 15,44°P e 16,33°P. Novamente, embora não seja uma relação linear, era de esperar que as cervejas que receberam a adição de especiarias apresentassem os maiores resultados de extrato primitivo. VIEIRA et al. (2016) trabalhando com cerveja com pimenta do mesmo estilo *Blond Ale* encontraram resultado semelhante de 16,56°P, mas MESQUITA et al. (2020) trabalhando com cerveja *German Pilsen* adicionada de cravo e canela encontraram resultado inferior, de 13,48°P.

O extrato real representa todos os sólidos que fazem parte da composição da cerveja e está relacionado com o corpo, pois indica a quantidade de açúcares, dextrinas e proteínas restantes na cerveja depois da fermentação (SPEDDING 2014). No presente estudo os resultados ficaram compreendidos entre 5,92% (m/m) e 6,27% (m/m), apresentando diferenças estatísticas entre si. A “Cerveja CT” apresentou o maior resultando, indicando ser a mais encorpada, já que nas

cervejas adicionadas de especiarias uma parte das substâncias dissolvidas foram convertidas em etanol, conforme descrito anteriormente. Estudos disponíveis na literatura apontam que tais resultados de extrato real estão ligeiramente acima dos normalmente encontrados em cervejas comerciais, indicando que as aqui analisadas apresentaram-se consideravelmente encorpadas. A cerveja de mesmo estilo *Blond Ale* com adição de polpa de abacaxi estudada por COSTA et al. (2019) apresentou resultado de 5,80% (m/m). Já as cervejas de outros estilos, como a *Red Ale* de NUNES FILHO et al. (2021) apresentaram valores compreendidos entre 2,99% (m/m) e 3,94% (m/m), e as cervejas *Pale Ale* com adição de acerola e abacaxi estudadas por PINTO et al. (2015) apresentaram resultado entre 3,02% (m/m) e 4,01% (m/m).

Quanto ao extrato aparente, cabe citar que trata-se de uma grandeza que não é a real devido à presença do álcool na cerveja. O extrato aparente também mede a quantidade de sólidos, mas há a interferência da água e do álcool presentes na cerveja (SPEDDING, 2014). Geralmente, estes valores são menores que os valores encontrados para extrato real e podem ser obtidos através de correlações com a densidade aparente (COELHO NETO et al., 2020). Os resultados de extrato aparente das cervejas analisadas apresentaram diferenças estatística entre si e ficaram compreendidos entre 3,50% (m/m) e 4,08% (m/m). Assim como o extrato real, os valores encontrados nas cervejas estudadas mostraram-se ligeiramente maiores que os apresentados nos mesmos estudos de extrato real supracitados.

Pelos resultados apresentados na Tabela 7 percebe-se que o conteúdo energético das cervejas analisadas ficou compreendido entre 237,1 kJ/100mL e 251,4 kJ/100mL, que correspondem, respectivamente, a 56,7 kcal/100mL e 60,1 kcal/100mL. A “Cerveja CT” apresentou o menor resultado e as cervejas com especiarias apresentaram-se mais calóricas devido aos ingredientes adicionais. A legislação brasileira (BRASIL, 2019) não restringe o conteúdo energético das cervejas, mas só permite a expressão “cerveja *light*” para aquelas cujo valor não ultrapasse 35 kcal/100mL (146,4 kJ/100mL).

Segundo BAMFORTH (2005), o conteúdo energético das cervejas varia significativamente em função do estilo e das matérias-primas utilizadas, tendo reportado valores de 169 kJ/100mL para o estilo *Lager*, de 236 kJ/100mL para o estilo *Pale Ale* e de até 336 kJ/100mL para o estilo *Barley Wine*. DA SILVA (2018)

estudando cervejas com adição de seriguela e laranja encontrou resultados entre 160,2 kJ/100mL e 168,6 kcal/100mL, sendo as mais calóricas aquelas que receberam a adição da fruta. VELJOVIC et al. (2015) também verificaram que a adição de uva em cervejas aumentou o conteúdo energético de 174,1 kJ/100mL da cerveja controle para até 209,2 kJ/100mL da cerveja com a fruta.

Ao analisar os dados de pH, percebe-se uma variação estatística entre a “Cerveja CT” e a “Cerveja C”, sendo que os valores ficaram compreendidos entre 4,24 e 4,28, respectivamente. VENTURINI FILHO (2010) relata que o pH da cerveja depende, dentre outros fatores, da formação de ácidos durante a fermentação, mas para que a cerveja possa ser considerada normal, o valor deve estar na faixa de 3,8 a 4,7. Para COELHO NETO (2020), é desejável que o pH seja menor que 4,3, pois, a manutenção da acidez auxilia em sua conservação, evitando a proliferação de microrganismos indesejados.

FERNANDES (2017) trabalhando com cerveja do estilo *Blond Ale* encontrou valores de pH de 3,73 e 3,74, portanto mais ácidas que as aqui analisadas. VENTURINI FILHO (2010) relata que há uma tendência de queda de pH para cervejas produzidas com a adição de frutas. De fato, PINTO et al. (2015) analisando cerveja com adição de abacaxi e acerola encontraram valores de pH variando entre 3,03 e 4,01 sendo que a adição das frutas resultou na redução do pH. Entretanto, DA SILVA (2018) estudando cervejas *Ale* com adição de seriguela e laranja encontrou resultados entre 4,11 e 4,14, sendo que a adição das frutas aumentou o pH. NUNES FILHO et al. (2021) analisando cervejas com adição de especiarias reportou valores de pH entre 4,32 e 4,48, sendo que as cervejas com especiarias também apresentaram maiores valores de pH. SÁ (2023) analisando cervejas *Pale Ale* com adição de açafrão também verificou o aumento do pH com a adição da especiaria.

A cor foi único parâmetro simulado da cerveja que apresentou resultado significativamente divergente do esperado. O *software BeerSmith* simulou um resultado de 11,3 da escala EBC e as leituras no colorímetro ficaram compreendidas entre 26 e 27 EBC. Segundo o guia BJCP, a cor das cervejas *Belgian Blond Ale* costuma ficar compreendida entre 8 e 14 EBC. Admite-se que a cor mais escura encontrada neste trabalho possa ser atribuída a uma eventual caramelização de açúcares redutores (GRANATO et al, 2011) e/ou pelo uso do

malte *Melanoidina* que apresenta variações bruscas de cor esperada (60 a 80 EBC), a depender do fornecedor.

Percebe-se que o valor da cor foi pouco influenciado pela presença das especiarias, pois a “Cerveja CT” apresentou 26 EBC enquanto a “Cerveja C” foi de 27 EBC. É bem verdade que a cúrcuma pode ser utilizada como agente colorífico em substituição aos corantes sintéticos, mas devido à baixa quantidade utilizada, o resultado não foi expressivo (NUNES FILHO, 2017).

Outra questão que deve ser discutida é quanto à turbidez das cervejas produzidas. Pelo fato delas não terem sido filtradas, percebe-se na Figura 21, que as cervejas apresentaram considerável turbidez. Indiretamente, esta turbidez pode ter influenciado nas leituras do colorímetro. Segundo BAMFORTH (2011), a turbidez é causada pelo alto teor de proteínas que se ligam a polissacarídeos e formam complexos insolúveis. A alta concentração de proteínas, oriundas principalmente da aveia, contribuiu para a estabilidade da espuma e para a referida turbidez da cerveja (DRAGONE et al., 2007).

O amargor foi o parâmetro físico-químico mais influenciado pela adição das especiarias. A “Cerveja CT” apresentou resultado de 14,35 IBU, bem próximo ao que foi simulado pelo BeerSmith que era 14,7 IBU. Contudo, ao aumentar a concentração das especiarias, os resultados de amargor aumentaram significativamente. A “Cerveja A” elevou em 23,5%, a “Cerveja B” em 43,0% e a “Cerveja C” em 112,5%.

MESQUITA et al. (2020) trabalhando com cerveja *German Pilsen* adicionada de cravo e canela encontraram amargor de 17,82 IBU, mas não a compararam com a cerveja controle. NUNES FILHO (2017) trabalhando com cervejas adicionadas de especiarias concluiu que a pimenta tem importante contribuição para o aumento do IBU. Em seu trabalho, reporta que o amargor de uma cerveja *Red Ale* aumentou de 14,98 IBU na cerveja controle para 31,53 IBU na cerveja com adição de extrato de pimenta, que correspondem a valores semelhantes aos encontrados neste estudo. O referido autor também cita que, segundo MEEROV e KATYUZHANSKAYA (1973), alguns alcaloides presentes na pimenta são os grandes responsáveis pelo aumento do amargor em cervejas.

5.2 QUANTIFICAÇÃO DE FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A Tabela 8 apresenta os resultados dos compostos fenólicos totais (CFT), analisados pelo método de Folin-Ciocalteu; e, da capacidade antioxidante total, analisada pelo método DPPH. Os ensaios foram realizados em triplicatas e os valores mostrados referem-se à média e ao desvio padrão, juntamente com o tratamento dos dados da ANOVA e teste de Tukey, em nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Tabela 8: Resultados das análises de fenólicos e da capacidade antioxidante.

Cerveja	Compostos Fenólicos Totais CFT - (mg EAG/L)	Capacidade Antioxidante (% de inibição do DPPH)
CT	324,1 ^a ± 7,8	23,7 ^a ± 2,1
A	350,0 ^b ± 0,7	36,3 ^b ± 2,1
B	350,4 ^b ± 0,4	42,7 ^c ± 2,1
C	353,7 ^b ± 1,9	63,3 ^d ± 4,2

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

CT = cerveja controle. A, B e C: cervejas com adição de especiarias conforme Tabela 5

Letras iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os resultados das análises de CFT estavam de acordo com o previsto na literatura, já que a adição das especiarias aumentou o teor destes compostos quando comparadas com a “Cerveja CT”. Percebe-se que não houve variação estatística entre as cervejas que receberam as especiarias, sendo que estes resultados foram de 8,0% a 9,1% maiores que o da “Cerveja CT”.

Conforme já relatado, o tipo e a quantidade de maltes exercem forte influência nos teores de compostos fenólicos nas cervejas, já que cerca de 70%-80% destas substâncias são oriundas do malte, enquanto os 20%-30% restantes têm origem no lúpulo (GERHÄUSER, 2005). Em geral, as cervejas de estilo *Ale* apresentam maiores teores de compostos fenólicos do que as cervejas de estilo *Lager*. PIAZZON et al (2010), verificaram que o teor de CFT aumentaram de acordo com os estilos, na seguinte ordem: cerveja sem álcool < *Lager* < *Pilsner* < *Wheat* < *Ale* < *Abbey* < *Bock*. NARDINI & FODDAI (2020) analisaram duas cervejas *Lagers* encontrando valores de 273,8 mg EAG/L e 320,6 mg EAG/L,

enquanto na análise de três cervejas *Ales* encontraram teores variando entre 382,7 mg EAG/L e 446,1 mg EAG/L. GRANATO et al. (2011) analisaram 18 cervejas do estilo *Lager* encontrando valores entre 119,96 mg EAG/L e 200,21 mg EAG/L, enquanto que nas 11 cervejas do estilo *Ale* os teores variaram entre 280,10 mg EAG/L e 525,93 mg EAG/L. Portanto, as cervejas aqui estudadas apresentaram resultados de CFT compatíveis com os dos referidos estudos.

A literatura também apresenta diversos artigos relacionando a adição de frutas com o aumento do teor de CFT na bebida. NARDINI & GARAGUSO (2020) analisaram cervejas com adição de cereja, casca de laranja, uva, ameixa, framboesa, pêssego, damasco e maçã, encontrando valores de 747 mg EAG/L, 639 mg EAG/L, 631 mg EAG/L, 598 mg EAG/L, 536 mg EAG/L, 510 mg EAG/L, 454 mg EAG/L e 399 mg EAG/L, respectivamente, embora não tenham comparado com as cervejas controles. Já GASÍŃSKI et al. (2020) analisaram cervejas com adição de manga, encontrando valores entre 218,6 mg EAG/L e 267,6 mg EAG/L, enquanto a cerveja controle continha 187,4 mg EAG/L de CFT.

As cervejas adicionadas de especiarias, geralmente, também apresentam maiores teores de compostos fenólicos. SÁ (2023) analisando cervejas *Pale Ale* com adição de açafrão encontrou teores de CFT, a depender da concentração da especiaria, compreendidos entre 454,1 mg EAG/L e 663,4 mg EAG/L, que correspondem a valores 73,9% e 154,1% maiores que a cerveja controle que continha 261,1 mg EAG/L. CASTRO et al. (2022) trabalhando com cervejas adicionadas de pimenta encontrou teor CFT de 317,9 mg EAG/L enquanto a cerveja controle continha 256,3 mg EAG/L, o que corresponde a um aumento de 24,0%. WEILLER & BEZERRA (2017) estudaram cervejas com adição de canela e encontraram teores de CFT de 40,0% a 69,1% maiores que o teor da cerveja controle, a depender da concentração da especiaria. Portanto, em termos de aumentos percentuais, a cúrcuma tem uma maior contribuição para o aumento do teor de CFT, quando comparada com a pimenta e a canela. Esta conclusão também foi relatada por NUNES FILHO (2017) quando comparou as cervejas adicionadas com cúrcuma e pimenta do seu trabalho.

Além do estilo e da adição de frutas/especiarias, cabe destacar outros dois fatos citados por DA SILVA et al. (2021) que também podem alterar o teor de CFT em cervejas. O primeiro refere-se ao uso de maltes torrados que leva ao aumento dos CFT, já que o processo de torrefação pode aumentar a liberação

destes compostos (PIAZZON et al., 2010). O segundo refere-se à escala de produção, já que no estudo conduzido por BERTUZZI et al. (2020) foi relatado que as cervejas produzidas em pequenas cervejarias apresentaram teores médios de 506 mg EAG/L enquanto as bebidas das grandes cervejarias apresentam teores médios de 403 mg EAG/L, isso, possivelmente, devido a ingredientes diferenciados que geralmente são utilizados nas cervejarias menores.

Quanto aos resultados da capacidade antioxidante apresentados na Tabela 8, percebe-se que houve significativa variação estatística, com resultados variando entre 23,7% e 63,3%, expressos em percentual de inibição dos radicais livres. Conforme previsto na literatura, a adição das especiarias ocasionou o aumento da capacidade antioxidante nas cervejas. Isto porque as especiarias aumentaram o teor de fenólicos que são compostos que possuem a capacidade de retardar a oxidação, tanto de sistemas alimentares quanto de sistemas celulares. (NARDINI & FODDAI, 2020; WEI et al., 2001).

No trabalho de GRANATO et al. (2011) foi verificado que as 18 cervejas do estilo *Lager* apresentaram resultados de atividade antioxidante compreendidos entre 4,75% e 32,82%, enquanto que nas 11 cervejas do estilo *Ale* os valores variaram entre 11,23% e 59,98%. RAHMAN et al. (2020) analisaram 13 cervejas de estilos/marcas variadas e encontraram resultados variando entre 25,11% e 71,24%. Portanto, as cervejas aqui estudadas apresentaram resultados de capacidade antioxidante compatíveis com os disponíveis na literatura.

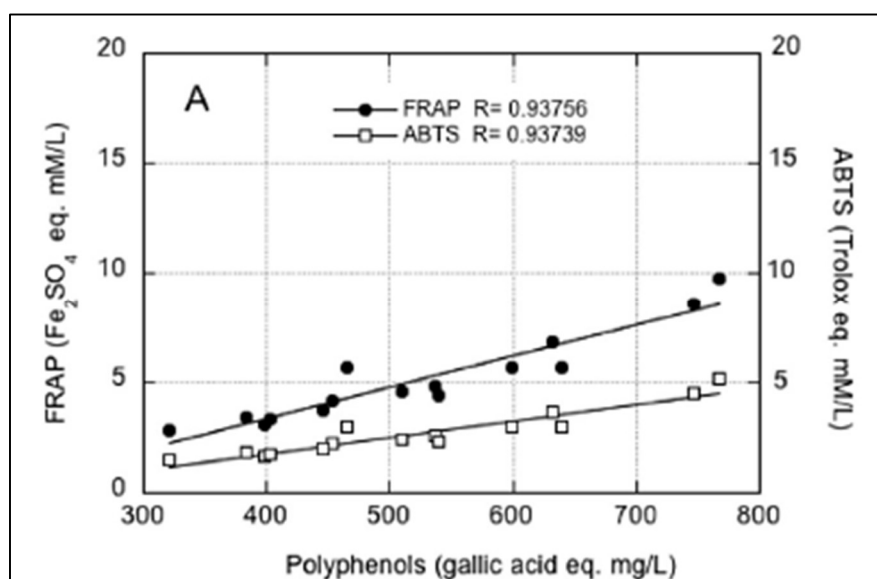
Aqueles estudos com cervejas contendo especiarias que demonstraram o aumento de CFT em relação às cervejas controle também demonstraram o aumento da capacidade antioxidante. SÁ (2023) em suas amostras de cerveja com cúrcuma, pelo mesmo método de DPPH, relatou aumento de cerca de 60% quando comparadas com a controle. CASTRO et al. (2022) trabalhando com cervejas contendo pimenta encontrou 50,7% de atividade antioxidante enquanto a cerveja controle apresentou 39,3% de capacidade antioxidante, o que corresponde a um aumento de 29,0%. WEILLER & BEZERRA (2017) com as cervejas contendo canela encontraram valores de 55,21% e 39,66% a depender da concentração da especiaria, enquanto a cerveja controle apresentou 23,83% de percentual de inibição, o que correspondem a aumentos de até 130%. As

cervejas aqui estudadas que continham as três especiarias resultaram em aumento da capacidade antioxidante de até 167,1%.

Cabe citar que aquelas observações descritas relativas ao tipo de cerveja (Ale x Lager), à cor do malte, à adição de frutas/especiarias também influenciam nos resultados da atividade antioxidante, pois, diversos estudos observaram a grande correlação entre o teor de CFT e a atividade antioxidante da cerveja. (PIAZZON et al., 2010; RAHMAN et al., 2020).

NARDINI & GARAGUSO (2020) analisando 15 cervejas de diferentes marcas/estilos, sendo 10 com adição de frutas diversas (cereja, casca de laranja, uva, ameixa, framboesa, pêssigo, damasco e maçã) verificou uma forte correlação entre o CFT (pelo método de Folin-Ciocalteu) e a atividade antioxidante medida por dois métodos diferentes dos aqui utilizados: FRAP e ABTS. Pelo método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) as autoras encontraram uma correlação $r=0,93756$ (teste *t-Student* com $p < 0,0001$) e para o método de ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico) o coeficiente de correlação foi $r=0,93739$ (teste *t-Student* com $p < 0,0001$). O Gráfico 2 apresenta estas correlações entre os teores de CFT e a AA das 15 cervejas analisadas por NARDINI & GARAGUSO (2020).

Gráfico 2: Correlações entre os teores de CFT e as AAs.

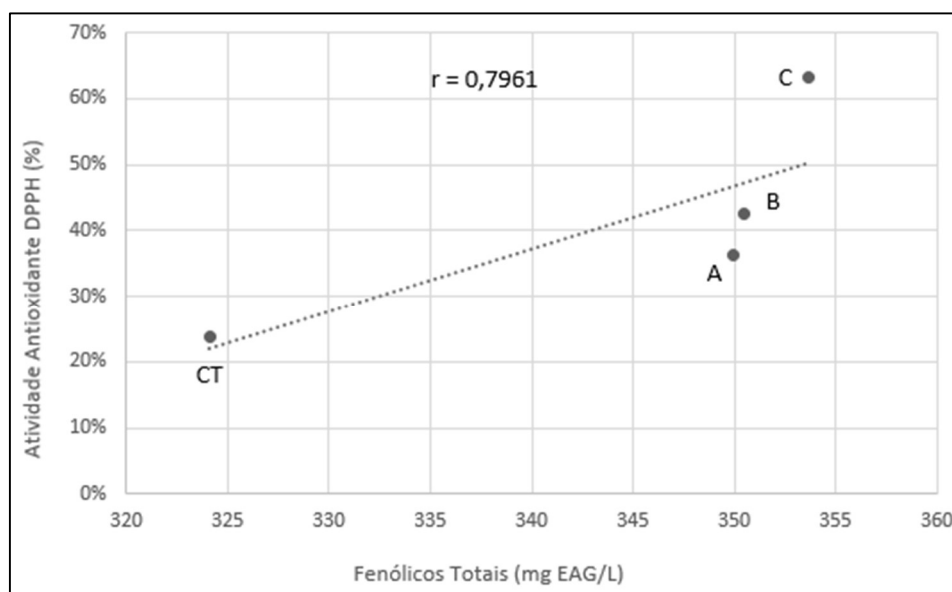


Fonte: Extraído de NARDINI & GARAGUSO (2020).

RAHMAN et al. (2020) também estudaram a correlação entre o teor de CFT e a AA através dos resultados das análises de 13 cervejas. Os teores de CFT também foram analisados por Folin-Ciocalteu e as atividades antioxidantes foram determinadas por três métodos distintos: FRAP, ABTS e DPPH. Os autores concluíram que, assim como NARDINI & GARAGUSO (2020), as correlações de CFT com os métodos FRAP e ABTS foram bastante consistentes, com coeficientes de $r=0,971$ (teste Pearson com $p < 0,01$) e $r=0,859$ (teste Pearson $p < 0,01$), respectivamente. Entretanto, para o método DPPH, a correlação apresentou menor consistência já que o coeficiente reportado foi de $r=0,661$ (teste Pearson $p < 0,05$).

Com os resultados das quatro cervejas deste presente trabalho também foi possível observar uma correlação entre o teor de CFT e AA medida por DPPH, conforme pode ser verificado no Gráfico 3. Percebe-se que o coeficiente de correlação $r=0,7961$ (teste Pearson com $p < 0,05$) foi um pouco maior que o relatado para as 13 cervejas de RAHMAN et al. (2020).

Gráfico 3: Correlação entre CFT e AA das cervejas analisadas.



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS

As análises de caracterização dos compostos voláteis foram realizadas nas três especiarias (cúrcuma, pimenta e canela), bem como nas quatro cervejas (CT, A, B e C) produzidas neste estudo.

Cabe ressaltar que todas as análises tinham o objetivo apenas qualitativo, ou seja, de determinar a presença ou não de determinadas substâncias nos produtos analisados. É sabido que a técnica MEFS-CG-EM apresenta resultado em percentual de área que pode ser relacionado com a concentração de cada composto. Entretanto, este percentual será apresentado nas tabelas abaixo apenas com a intenção de mostrar os compostos majoritários. Contudo, não devem ser considerados fidedignos para análise quantitativamente já que para isto seria necessária a aquisição de muitos compostos padrões com grau de pureza cromatográfico.

Apenas a fim de permitir uma interpretação da ordem de grandeza das palavras “majoritário(s)” e “minoritário(s)”, para as tabelas a seguir que apresentam o percentual de área, está se admitindo neste trabalho, que os valores acima de 1% são considerados compostos em proporções majoritárias, enquanto os inferiores a 1% são os compostos minoritários.

5.3.1. Voláteis nas Especiarias

A fim de caracterizar a presença dos principais compostos voláteis das especiarias, foram realizadas as análises de MEFS-CG-EM individualmente, conforme discutido a seguir.

5.3.1.1 Cúrcuma

A análise de MEFS-CG-EM da cúrcuma resultou na identificação de 74 picos cromatográficos. Os 17 principais compostos corresponderam a cerca de 86% da área total do cromatograma e estão apresentados na Tabela 9, em ordem decrescente de acordo com o percentual da área. Os outros 57 compostos identificados representaram apenas 13,9% da área, portanto, sendo considerados constituintes minoritários da cúrcuma.

Tabela 9: Principais compostos identificados na cúrcuma.

Composto	Fórmula	% Área
Ar-turmerona	C ₁₅ H ₂₀ O	30,1
Tumerona	C ₁₅ H ₂₂ O	11,9
α-Curcumeno	C ₁₅ H ₂₂	11,7
Zingibereno	C ₁₅ H ₂₄	9,2
γ-Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	2,9
Dicumeno	C ₁₈ H ₂₂	2,4
β-Sesquifelandreno	C ₁₅ H ₂₄	2,2
β-Cariofileno	C ₁₅ H ₂₄	2,2
Óxido de cariofileno	C ₁₅ H ₂₄ O	2,1
Metil-secbutil-benzeno	C ₁₁ H ₁₆	2,0
α-Bromomesitileno	C ₉ H ₁₁ Br	1,8
Trimetildecatrienol	C ₁₃ H ₂₂ O	1,6
Corimbolona	C ₁₅ H ₂₄ O ₂	1,4
Hidrato de sesquisabineno	C ₁₅ H ₂₆ O	1,3
Triciclopentadecadieno	C ₁₅ H ₂₂	1,2
Curlona	C ₁₅ H ₂₂ O	1,1
α-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	1,0
TOTAL		86,1%

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

A qualidade dos rizomas da cúrcuma é caracterizada pela presença do corante curcumina e pelos constituintes do óleo essencial.

Segundo PÉRET-ALMEIDA et al (2005), o óleo essencial da cúrcuma é predominantemente composto por terpênicos voláteis (hidrocarbonetos sesquiterpênicos, cetonas terpênicas e álcoois terpênicos), que são compostos orgânicos capazes de serem identificados por cromatografia gasosa (QIANG et al., 2021).

MARTINS & RUSIG (1992) encontraram turmerona, hidroturmerona e zingibereno como os principais constituintes, além de reportarem a presença de sesquisabineno, sesquifelandreno, cineol e borneol nos óleos estudados. ZWAVING & BOS (1992) relataram que cerca de 75% do óleo essencial

analisado era composto por ar-turmerona, turmerona e turmerol e ainda relataram a presença de outros compostos como cariofileno, farneseno, α -curcumeno, β -curcumeno e β -sesquifelandreno. QIANG et. al (2021) analisaram óleos essenciais de cúrcumas oriundas da China e encontraram β -cedreno, ar-curcumeno e α -zingibereno como os principais constituintes e ainda reportou a presença de β -bisaboleno, ar-turmerona, β -sesquifelandreno e curlona. Portanto, os compostos voláteis identificados na cúrcuma deste estudo estão semelhantes com os reportados na literatura.

Já a curcumina, o composto bioativo, assim como os curcuminoides desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina, são os componentes majoritários da fração não-volátil do rizoma. Portanto, a técnica analítica utilizada neste estudo (MEFS-CG-EM) não é adequada para sua identificação e por isso a curcumina não está reportada na Tabela 9 e nem na literatura citada. Entretanto, cabe ressaltar que isso não significa que a curcumina não esteja presente na especiaria analisada e nem nas cervejas produzidas neste trabalho. Conforme já relatado anteriormente, a curcumina geralmente está presente no rizoma da cúrcuma em percentual variando entre 3% e 5%, e muito provavelmente foi um dos compostos responsáveis pelo aumento do teor de fenólicos e da atividade antioxidante, encontrados nas cervejas analisadas. Segundo PÉRET-ALMEIDA et al (2005), a técnica mais adequada para a identificação e quantificação da curcumina é a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

5.3.1.2 Pimenta do Reino

A análise de MEFS-CG-EM da pimenta do reino resultou em um total de 107 picos que foram identificados no cromatograma. Os 21 principais constituintes que corresponderam a cerca de 75% dos compostos identificados, estão apresentados na Tabela 10, em ordem decrescente de acordo com o percentual da área. As outras 86 substâncias, que estavam em menores quantidades na pimenta, representaram cerca de 25% da área do cromatograma.

Tabela 10: Principais compostos identificados na pimenta do reino.

Composto	Fórmula	% Área
α -Limoneno	C ₁₀ H ₁₆	10,0
δ -Elemeno	C ₁₅ H ₂₄	9,5
β -Pineno	C ₁₀ H ₁₆	8,5
α -Copaeno	C ₁₅ H ₂₄	5,1
α -Felandreno	C ₁₀ H ₁₆	4,8
β -Curcumeno	C ₁₅ H ₂₄	3,8
δ -Cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	3,6
Óxido de cariofileno	C ₁₅ H ₂₄ O	3,2
α -Pineno	C ₁₀ H ₁₆	3,0
α -Cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	2,8
α -Bisabolol	C ₁₅ H ₂₆ O	2,5
β -Sesquifelandreno	C ₁₅ H ₂₄	2,5
Espatuleno	C ₁₅ H ₂₄ O	2,2
β -Felandreno	C ₁₀ H ₁₆	1,8
Elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	1,8
Thujanol	C ₁₀ H ₁₈ O	1,7
Dimetil-tetraciclo-tridecanol	C ₁₅ H ₂₄ O	1,7
α -Curcumeno	C ₁₅ H ₂₄	1,7
Tetrametil-cicoundecatrieno	C ₁₅ H ₂₄	1,7
Curlona	C ₁₅ H ₂₂ O	1,6
Tumerona	C ₁₅ H ₂₂ O	1,2
TOTAL		74,7%

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Estudos apontam que a determinação de compostos dos óleos essenciais da pimenta do reino, por CG-EM, apresentam hidrocarbonetos monoterpênicos e sesquiterpênicos como os principais constituintes. DOSOKY et al. (2019) analisaram óleos essenciais de pimentas do reino e verificaram que os principais constituintes são α -limoneno, β -cariofileno, α -pineno, β -pineno e thujanol, além de relatarem a presença do δ -elemene, α -felandreno, δ -cadinol, α -copaeno, óxido de cariofileno e espatuleno, também encontrados neste estudo. BHATIA

et al. (2024) concluíram que os constituintes majoritários do óleo essencial de pimenta são o cariofileno, limoneno, felandreno, pineno e copaeno, todos também presentes na pimenta deste estudo.

A piperina, o composto bioativo da pimenta, também não foi identificada nesta análise de voláteis e nem citada na literatura acima por se tratar de um alcaloide, não-volátil, em que as técnicas mais adequadas para sua identificação seriam a CLAE ou a CG com injeção direta (SCHAAB, 2008).

5.3.1.3 Canela

A análise de MEFS-CG-EM da canela resultou em um total de 62 picos identificados no cromatograma. Destes, os 18 principais constituintes corresponderam a cerca de 82% dos compostos identificados e estão apresentados na Tabela 11, de acordo com o percentual da área. Os outros demais 44 constituintes que foram identificados corresponderam a componentes classificados como minoritários.

Tabela 11: Principais compostos identificados na canela.

Composto	Fórmula	% Área
Cinamaldeído	C ₉ H ₈ O	12,9
α-Copaeno	C ₁₅ H ₂₄	11,7
α-Cadineno	C ₁₅ H ₂₄	11,3
Aloisolongifoleno	C ₁₅ H ₂₄	5,4
Formiato de cinamila	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	5,3
Benzeno bis-butenil	C ₁₄ H ₁₈	5,0
Ar-turmerona	C ₁₅ H ₂₀ O	4,3
α-Calacoreno	C ₁₅ H ₂₀	4,2
Ciclosativeno	C ₁₅ H ₂₄	3,2
γ-Muroleno	C ₁₅ H ₂₄	2,9
Sativeno	C ₁₅ H ₂₄	2,6
Álcool cinâmico	C ₉ H ₁₀ O	2,6
Isosativeno	C ₁₅ H ₂₄	2,1
Curlona	C ₁₅ H ₂₂ O	1,9
β-Cariofileno	C ₁₅ H ₂₄	1,8

Tumerona	$C_{15}H_{22}O$	1,5
Cubebol	$C_{14}H_{24}O$	1,5
β -Cadineno	$C_{15}H_{24}$	1,4
TOTAL		81,6%

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Segundo YU et al. (2020), os óleos essenciais da canela são compostos principalmente por grupos de aldeídos, álcoois terpênicos e ésteres terpênicos. Analisando óleos essenciais extraídos da canela, concluiu que os principais componentes são o cinamaldeído, metoxicinamaldeído e acetato de cinamila, além de encontrar compostos como álcool cinâmico, α -copaeno, α -cadineno, ciclosativeno, muroleno e cariofileno, também encontrados neste estudo. LIMA et al (2005) analisou óleos essenciais extraídos da casca da canela e encontrou linalol, pineno, felandreno, acetato de cinamila e cinamaldeído como os principais constituintes, além das substâncias cariofileno, copaeno e cadineno também presentes neste trabalho.

Portanto, o composto bioativo mais esperado da canela, o cinamaldeído, foi o principal constituinte da casca da canela analisada.

5.3.2 Voláteis nas Cervejas

As quatro cervejas produzidas nesse trabalho (CT, A, B e C) foram submetidas a análise de MEFS-CG-EM. A Tabela 12 apresenta os compostos voláteis majoritários em termos de percentual de área dos cromatogramas. Estes compostos foram agrupados em cinco funções orgânicas presentes em cervejas a fim de facilitar a interpretação dos dados, sendo elas: álcoois, ácidos carboxílicos, ésteres, carbonílicos e terpênicos. No grupo “Outros” foram organizados os demais compostos de funções químicas diferentes das supracitadas.

A “Cerveja CT” resultou em um total de 49 picos que foram devidamente identificados no cromatograma. Destes, 29 constituintes corresponderam a 94,9% da área dos compostos identificados e estão apresentados na Tabela 12, de acordo com o percentual da área, ressaltando que o traço significa que o composto não foi encontrado nas cervejas. A “Cerveja A” resultou em um total

de 63 picos, onde 42 constituintes corresponderam a 94,9% da área dos compostos identificados. A “Cerveja B” resultou em um total de 64 picos, onde 43 constituintes relevantes corresponderam a 94,4% da área dos compostos voláteis identificados. E, a “Cerveja C” resultou em um total de 67 picos, onde os 44 constituintes majoritários corresponderam a 92,5% da área dos compostos identificados.

Tabela 12: Principais compostos voláteis identificados nas cervejas.

Composto	Cerveja CT (% área)	Cerveja A (% área)	Cerveja B (% área)	Cerveja C (% área)
Álcoois:	59,9%	19,2%	33,2%	31,9%
Etanol	32,5	9,6	17,8	9,0
Álcool fenetílico	21,7	4,4	9,2	7,6
Álcool hidrocínâmico	-	3,2	3,5	12,3
Álcool isoamílico	5,0	1,7	2,5	2,9
Álcool isobutílico	-	< 1	< 1	< 1
Álcool miristílico	< 1	< 1	-	-
Ácidos orgânicos:	8,5%	7,2%	5,3%	4,8%
Ácido octanóico	4,1	1,5	1,3	1,6
Ácido decanóico	1,8	2,0	1,6	1,6
Ácido dodecanóico	< 1	1,7	1,1	< 1
Ácido hexadecanóico	< 1	< 1	< 1	< 1
Ácido decenóico	1,0	< 1	< 1	< 1
Ácido tetradecanóico	< 1	< 1	< 1	< 1
Ácido hexadecenóico	-	< 1	< 1	-
Ésteres:	20,7%	55,9%	37,1%	27,0%
Acetato de cinamila	-	12,6	8,0	13,2
Acetato de fenetila	5,5	3,2	2,9	1,6
Dodecanoato de etila	1,1	7,7	4,3	< 1
Decanoato de etila	2,2	6,0	3,7	2,1
Hexadecanoato de etila	-	6,1	5,3	-
Octanoato de etila	4,0	3,5	1,6	1,7
Decenoato de etila	3,8	3,8	< 1	< 1

Hexadecenoato de etila	-	4,1	3,6	1,0
Tetradecanoato de etila	< 1	3,0	1,5	< 1
Octadecanoato de etila	1,3	1,2	1,4	< 1
Acetato de isoamila	< 1	1,3	< 1	< 1
Oleato de etila	< 1	1,2	1,2	< 1
Hidrocinaamato de etila	-	< 1	< 1	1,3
Decanoato de isoamila	-	< 1	< 1	< 1
Acetato de etila	< 1	< 1	< 1	< 1
Octadecadienoato de etila	-	< 1	< 1	< 1
Hexanoato de etila	< 1	< 1	-	0,2
Metilbenzoato de pentenil	-	-	-	1,0
Ftalato de diisobutila	< 1	-	-	< 1
Formiato de cinamila	-	-	< 1	-
Pentanoato de dibutilfenil	-	-	-	< 1
Carbonílicos:	0,0%	0,2%	0,2%	0,5%
Cinamaldeído	-	< 1	< 1	< 1
Hidrocinaamaldeído	-	-	-	< 1
Cetonas	-	-	-	-
Terpênicos:	3,7%	10,5%	13,4%	22,3%
Ar-turmerona	-	5,9	7,4	13,7
Tumerona	-	1,4	1,8	2,8
Curlona	-	1,2	1,5	2,0
Farnesol	< 1	< 1	< 1	-
γ -Eudesmol	-	< 1	< 1	1,5
Nerolidol	1,3	< 1	< 1	-
Agarospírol	-	-	< 1	< 1
α -Curcumeno	-	< 1	< 1	< 1
Dihidrofarnesol	< 1	< 1	< 1	< 1
Longifolenaldeído	< 1	-	-	-
Citronelol	< 1	-	-	< 1
Linalol	< 1	-	-	< 1
Acorenona				< 1
β -Sesquifelandreno	-	< 1	< 1	-

Outros:	2,1%	1,9%	5,3%	6,0%
Dicumeno	-	1,0	1,9	4,7
Vinilguaiaicol	2,1	< 1	1,3	1,3
Acetoína	-	-	2,1	-
Sulfurosos	-	-	-	-
TOTAL	94,9%	94,9%	94,4%	92,5%

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

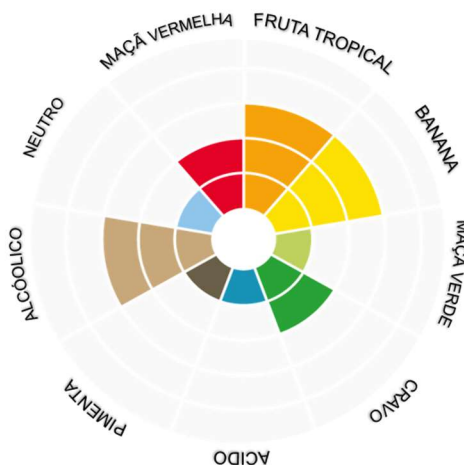
Percebe-se que não houve significativa variação qualitativa entre as cervejas que receberam as especiarias. Até porque trata-se dos mesmos insumos e do mesmo processo de produção, diferindo apenas nas quantidades de especiarias adicionadas. Dos 53 compostos mostrados na Tabela 12, a “Cerveja A” contou com a presença de 42, a “Cerveja B” com a presença de 43 e a “Cerveja C” continha 44 destes constituintes. Entretanto, por outro lado, a “Cerveja CT” continha apenas 28 destes constituintes.

Portanto, a primeira conclusão obtida é que a adição das especiarias aumentou a diversidade dos compostos voláteis presentes nas cervejas em um percentual compreendido entre 50% e 57% a depender da concentração.

Ao comparar a cerveja controle com as cervejas adicionadas de especiarias, é possível observar que este aumento da diversidade de constituintes voláteis se deu principalmente nas classes dos compostos terpênicos e dos ésteres. O aumento dos terpênicos já era esperado pois estes são os constituintes voláteis majoritários das especiarias conforme já apresentado nas Tabelas 9, 10 e 11. Já em relação aos ésteres, o aumento ocorreu principalmente devido à formação de compostos relacionados com o cinamaldeído oriundo da canela, como por exemplo o acetato de cinamila, que se apresenta de forma majoritária nas Cervejas A, B e C e não estava presente na “Cerveja CT”.

Conforme descrito anteriormente, a levedura utilizada na fermentação tem papel de extrema importância na formação dos tipos de álcoois, ácidos e ésteres contidos na cerveja. Segundo a LALLEMAND (2023), empresa produtora do fermento utilizado neste estudo, a levedura *Abbaye* tem a capacidade de produzir cervejas de estilo belga de alto teor alcoólico, seca, de baixa acidez e de sabor frutado que inclui aroma de banana, conforme pode ser verificado na roda de aromas da Figura 31.

Figura 31: Roda de aromas da levedura *Abbaye* da *Lallemand*.



Fonte: www.lallemandbrewing.com/en/united-states/products/abbaye-belgian-ale-yeast/.

Neste contexto, percebe-se que todas as cervejas deste estudo, independentemente da contribuição das especiarias, apresentaram compostos químicos condizentes com algumas características desta levedura.

Comparando com algumas literaturas disponíveis, as cervejas deste trabalho apresentaram teor alcóolico ligeiramente maior que o de outras cervejas do mesmo estilo *Blond Ale*, mas que fermentaram com outras cepas de levedura. PIZONE (2022) utilizando levedura *SafAle* US-04 da *Fermentis* encontrou teores alcóolicos entre 5,18% (v/v) e 5,21% (v/v). COSTA et al (2019) utilizando levedura US-05 da *Fermentis* encontrou teor alcóolico de 5,24%. BARRANCO & VILLARREAL (2021) também utilizando levedura US-05 da *Fermentis*, encontraram teores alcóolicos de 4,13% (v/v) e de 4,52% (v/v). Portanto, as cervejas deste trabalho, que resultaram em teores entre 6,20% (v/v) e 6,92% (v/v), são consideravelmente mais alcóolicas que as supracitadas em razão da levedura *Abbaye* ter esta característica conforme apresentado na roda de aromas da Figura 31.

Percebe-se que é expressiva a presença do álcool isoamílico nas cervejas deste estudo quando comparado com outros tipos de álcoois. Segundo SAERENS et al. (2008), o álcool isoamílico, juntamente com o propílico, isobutílico e o fenetílico são os álcoois superiores mais comumente encontrados em cervejas. Entretanto, CARVALHO (2021) trabalhando com cervejas do estilo *Saison* não identificou a presença do álcool isoamílico, mas encontrou diversos outros álcoois como o fenetílico, octanol, decanol, undecanol, dodecanol,

tetradecanol e hexadecanol. DANELLI (2015) ao tabelar os 20 compostos voláteis majoritários de suas cervejas, também não encontrou o álcool isoamílico, embora tenha identificado a presença do pentanol, hexanol e dodecanol. Portanto, pode-se admitir que a levedura *Abbaye* tem esta característica de metabolismo voltado para uma maior produção do álcool isoamílico quando comparada com a de outros álcoois superiores. E, dessa forma, como consequência, tem-se a produção do acetato de isoamila, identificado na Tabela 12, que é o responsável pelo *flavor* de banana, um dos aromas característicos mostrado na roda de aromas da levedura *Abbaye*.

Conforme citado por SAERENS et al. (2008), o álcool fenílico é outro álcool muito comumente encontrado em vários estilos de cervejas. DA CONCEIÇÃO et al. (2020) ao analisar os compostos voláteis de 14 marcas/estilos diferentes encontraram o álcool fenílico em todas as cervejas estudadas. E, como consequência, também encontraram o acetato de fenila em todas as mesmas 14 cervejas analisadas. Estas substâncias contribuem para um sabor adocicado e para um aroma que remetem a flores e rosas.

Quando se avalia a acidez, pela Tabela 12, percebe-se que as cervejas deste estudo não apresentaram ácidos de pequenas cadeias carbônicas, tais como o ácido acético e o propílico, que são importantes responsáveis pela alta acidez. Dessa forma, a ausência destes ácidos está condizente com o pH não tão baixo esperado nas cervejas fermentadas com levedura *Abbaye*. Conforme já descrito no capítulo 5.1, as cervejas deste estudo apresentaram pH entre 4,24 e 4,28, que são valores maiores que o estudo de FERNANDES (2017) que trabalhou com cervejas *Blond Ale* fermentadas com outros tipos de leveduras diferentes da *Abbaye* que resultaram em pH entre 3,73 e 3,74.

Ainda sobre ácidos, cabe ressaltar que o ácido acético é um produto que participa do metabolismo primário das leveduras e é de suma importância para a produção de diversos ésteres do tipo acetato. Entretanto, um remanescente de ácido acético em alta concentração pode trazer problemas para o sabor e aroma do produto final (PORTO, 2023). Nas cervejas aqui produzidas e analisadas não restou remanescentes do ácido acético, o que é um indicativo de que a fermentação foi bem conduzida e de que não houve contaminação indesejável por bactérias do gênero *Acetobacter* (DE CARVALHO & ZAMBIAZI, 2011).

Os ésteres foram os compostos de maior diversidade encontrados nas cervejas deste estudo. Foi um total de 30 diferentes tipos de ésteres, embora na Tabela 12 limitou-se a apresentar os 21 mais relevantes. As cervejas que receberam adição de especiarias apresentaram um total compreendido entre 18 e 22 ésteres, enquanto a “Cerveja CT” apresentou apenas 12 tipos de ésteres. DA CONCEIÇÃO et al. (2020) analisando 14 marcas/estilos diferentes de cervejas encontraram o máximo de 12 tipos de ésteres e CARVALHO (2021) ao analisar 5 tipos de cervejas com adição de jabuticaba encontrou o máximo de 13 tipos de ésteres diferentes nas cervejas. Portanto, a adição das especiarias nas cervejas aqui analisadas teve uma importante contribuição para o aumento da diversidade dos ésteres.

BORTOLETO & GOMES (2020) descreveram que os ésteres mais prováveis de serem encontrados em cervejas são o acetato de etila, hexanoato de etila, acetato de fenetila e o acetato de isoamila, que também estavam presentes nas cervejas deste estudo. Estes compostos são extremamente importantes para a característica sensorial da cerveja, pois atribuem aromas frutados e sabores adocicados à cerveja. Ao avaliar os ésteres que estavam predominantes em todas as cervejas deste estudo, percebe-se que o acetato de feniletila, o octanoato de etila, o decanoato de etila e o dodecanoato de etila contribuíram para esta característica frutada que também está representada na roda de aromas da levedura *Abbaye*.

Quanto aos compostos terpênicos voláteis presentes em cervejas, cabe lembrar que a maior parte deles tem sua origem nas matérias-primas, sendo que o lúpulo é o principal responsável pela presença destes compostos (BIAZON, 2008). Os sesquiterpenos tais como humuleno, cariofileno, farneseno e mirceno, além de álcoois como linalol, geraniol, nerol e nerolidol são os compostos terpênicos mais comumente encontrados em cervejas e são oriundos do lúpulo (DURELLO et al., 2019).

A “Cerveja CT” e algumas cervejas com especiarias deste trabalho continham álcoois terpênicos como o nerolidol, linalol, farnesol e o citronelol, possivelmente oriundos do lúpulo. Entretanto, a adição das especiarias, aumentou significativamente a diversidade destes compostos terpênicos, destacando que a cúrcuma contribuiu principalmente com a turmerona, ar-turmerona e curcumeno, enquanto a pimenta contribuiu para a presença do agarospirol e a

canela contribuiu para a presença do eudesmol, que são substâncias que não estavam presentes na cerveja controle e se mostraram presentes nas cervejas com especiarias. DA CONCEIÇÃO et al (2020) analisando 14 amostras de cervejas encontraram no máximo 6 tipos diferentes de terpenos voláteis. Já as cervejas deste estudo que receberam adição das especiarias apresentaram entre 13 e 18 tipos de compostos terpênicos, sendo que os 12 majoritários estão apresentados na Tabela 12.

Os três últimos compostos da Tabela 12 também merecem alguns comentários. O vinilguaiacol é um hidrocarboneto aromático do tipo fenólico que tem origem no ácido ferúlico presente na maioria dos maltes e que contribui para um aroma de cravo nas cervejas (COSTA, 2021); ressaltando que esteve presente nas quatro cervejas deste estudo e que este *flavor* faz parte da roda de aroma da levedura *Abbaye*. O dicumeno é um hidrocarboneto presente nas especiarias, principalmente na cúrcuma; e, esteve presente nas Cervejas A, B e C. Já a cetoína que está relacionada com o acetaldeído remanescente e cuja presença é menos indesejável que a do diacetil (STEWART et al., 2017) foi identificado apenas na cerveja B.

Por fim, percebe-se que o perfil dos compostos voláteis contidos nas cervejas deste estudo está condizente com o perfil esperado para uma cerveja do estilo *Belgian Blond Ale*, tanto pelo teor alcóolico apresentado, quanto pela baixa acidez e pela presença de ésteres que remetem ao aroma de frutas, principalmente o acetato de isoamila (banana).

5.3.2.1 Relação Entre Voláteis das Especiarias e Voláteis das Cervejas

Conforme relatado anteriormente, a adição das especiarias contribuiu para que as Cervejas A, B e C ficassem distintas da “Cerveja CT” em dois aspectos principais em termos de compostos voláteis. O primeiro se deve à forte presença de derivados do cinamaldeído oriundos da canela que garantiram a presença dos compostos álcool hidrocínâmico, acetato de cinamila, hidrocínamato de etila e do formiato de cinamila. O segundo aspecto se deve a contribuição das especiarias à maior diversidade de compostos terpênicos que foram encontrados nas cervejas como as turmeronas e a curlona.

Com vista a uma melhor compreensão sobre estes compostos terpênicos, este capítulo buscou detalhar os possíveis motivos que levaram com que alguns

constituintes das especiarias migrassem para as cervejas e os motivos porque outros constituintes não estavam presentes nas cervejas. Dessa forma, a Tabela 13 apresenta os principais compostos terpênicos presentes nas especiarias relacionados com a presença ou com a ausência nas cervejas. A tabela está dividida em grupos distintos de terpênicos, além de “Outros”, e apresenta a fórmula molecular e o percentual da área para facilitar o entendimento.

Tabela 13: Compostos das especiarias relacionados com as cervejas.

Composto	Fórmula Molecular	Especiarias			Cervejas		
		Cúrcuma	Pimenta	Canela	A	B	C
		(% Área)	(% Área)	(% Área)	(% Área)	(% Área)	(% Área)
Hidrocarbonetos terpênicos:		27,9%	53,3%	45,2%	0,8%	1,0%	1,6%
α -Copaeno	C ₁₅ H ₂₄	< 1	5,1	11,7	-	-	-
α -Curcumeno	C ₁₅ H ₂₂	11,7	1,7	-	< 1	< 1	< 1
α -Cadineno	C ₁₅ H ₂₄	-	-	11,3	-	-	-
α -Limoneno	C ₁₀ H ₁₆	< 1	10,0	< 1	-	-	-
δ -Elemene	C ₁₅ H ₂₄	-	9,5	-	-	-	-
Zingibereno	C ₁₅ H ₂₄	9,2	-	-	< 1	< 1	< 1
β -Pineno	C ₁₀ H ₁₆	-	8,5	-	-	-	-
Aloisolongifoleno	C ₁₅ H ₂₄	-	-	5,4	-	-	-
α -Felandreno	C ₁₀ H ₁₆	< 1	4,8	-	-	-	-
α -Calacoreno	C ₁₅ H ₂₀	< 1	< 1	4,2	-	-	-
β -Sesquifelandreno	C ₁₅ H ₂₄	2,2	2,5	-	< 1	< 1	-
β -Cariofileno	C ₁₅ H ₂₄	2,2	-	1,7	-	-	-
β -Curcumeno	C ₁₅ H ₂₄	-	3,8	-	-	-	-
Ciclosativeno	C ₁₅ H ₂₄	-	-	3,2	-	-	-
α -Pineno	C ₁₀ H ₁₆	-	3,0	-	-	-	-
γ -Muroleno	C ₁₅ H ₂₄	-	-	2,9	-	-	-
Sativeno	C ₁₅ H ₂₄	-	-	2,6	-	-	-
Isosativeno	C ₁₅ H ₂₄	-	-	2,1	-	-	-
β -Felandreno	C ₁₀ H ₁₆	-	1,8	-	-	-	-
Tetrametil-cicoundecatrieno	C ₁₅ H ₂₄	-	1,7	-	-	< 1	-
Triciclopentadecadieno	C ₁₅ H ₂₂	1,2	< 1	-	< 1	< 1	< 1
Cadala-1(10),3,8-triene	C ₁₅ H ₂₂	-	< 1	-	-	-	< 1
Cetonas terpênicas:		43,6%	2,8%	7,8%	8,4%	10,7%	19,0%
Ar-turmerona	C ₁₅ H ₂₀ O	30,1	-	4,3	5,9	7,4	13,7

Turmerona	C ₁₅ H ₂₂ O	11,9	1,2	1,6	1,4	1,8	2,8
Curlona	C ₁₅ H ₂₂ O	1,1	1,6	1,9	1,2	1,5	2,0
Acorenona	C ₁₅ H ₂₄ O	< 1	-	-	-	-	< 1
Álcoois terpênicos:		5,4%	16,8%	0,2%	1,3%	1,8%	3,9%
δ-Cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	-	3,6	-	-	-	-
γ-Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	2,9	-	< 1	< 1	< 1	1,4
α-Cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	-	2,8	-	< 1	1,3	1,3
α-Bisabolol	C ₁₅ H ₂₆ O	-	2,5	-	-	-	-
Espatulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	-	2,2	-	-	-	-
Elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	-	1,8	-	-	-	< 1
Thujanol	C ₁₀ H ₁₈ O	-	1,7	-	-	-	-
Dimetil-tetraciclo-tridecanol	C ₁₅ H ₂₄ O	-	1,7	-	-	-	-
Hidrato de sesquisabineno	C ₁₅ H ₂₆ O	1,3	< 1	-	-	-	-
α-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	< 1	-	-	-	-	< 1
β-Bisabolol	C ₁₅ H ₂₆ O	-	< 1	-	-	-	< 1
Eucaliptol	C ₁₀ H ₁₈ O	< 1	-	-	-	-	< 1
Outros:		2,8%	3,2%	23,3%	0,2%	0,5%	0,4%
Cinamaldeído	C ₉ H ₈	< 1	-	12,9	< 1	< 1	< 1
Formiato de cinamila	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	-	-	5,3	-	< 1	-
Óxido de cariofileno	C ₁₅ H ₂₄ O	2,1	3,2	-	-	-	-
Benzeno bis-butenil	C ₁₄ H ₁₈	-	-	5,0	-	-	-
TOTAL		79,7%	76,1%	76,6%	10,7%	14,0%	24,9%

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

* traço: significa que o composto não foi identificado nas cervejas.

O primeiro ponto a ser relatado é que a “Cerveja CT” não foi inserida na Tabela 13 porque todos os compostos acima não estavam presentes nesta cerveja. Ou seja, preliminarmente, admite-se que os compostos listados na Tabela 13 são oriundos exclusivamente das especiarias, já que não foram identificados na “Cerveja CT”.

Percebe-se que a concentração das especiarias apresentou ligeira influência na presença de determinados compostos voláteis nas cervejas analisadas. A “Cerveja A”, aquela de menor concentração, apresentou apenas 10 compostos oriundos das especiarias. A “Cerveja B”, de concentração intermediária, apresentou 12 compostos oriundos das especiarias. E, a “Cerveja C”, a mais concentrada, apresentou 15 substâncias oriundas das especiarias. Portanto,

como era de se esperar, a cerveja mais concentrada em especiarias, foi a que apresentou o maior número de compostos voláteis oriundos das especiarias.

Quando se analisa o número de compostos voláteis oriundos de cada especiaria, pode-se concluir que dos 19 compostos (79,7% da área) da cúrcuma apresentados na Tabela 13, 9 migraram para a “Cerveja A”, 9 migraram para a “Cerveja B” e 11 migraram para a “Cerveja C”. Em relação à pimenta, dos 26 compostos (76,1% da área) mostrados, 6 migraram para a “Cerveja A”, 7 migraram para a “Cerveja B” e 8 migraram para a “Cerveja C”. Já para a canela, dos 17 compostos (76,6% da área) apresentados, 5 migraram para a “Cerveja A”, 6 migraram para a “Cerveja B” e 5 migraram para a “Cerveja C”. Portanto, a cúrcuma foi a especiaria que mais contribuiu para a presença de voláteis nas cervejas, seguida pela pimenta e pela canela.

Analizando a classe dos hidrocarbonetos terpênicos, percebe-se que a maioria dos compostos presentes nas especiarias não migraram para as cervejas. Dos 22 mostrados na Tabela apenas 6 migraram para as cervejas, mas em percentagens de áreas praticamente desprezíveis. Inclusive compostos como o α -copaeno, α -cadineno, α -limoneno, δ -elemene e β -pineno, que eram importantes voláteis das especiarias, mas que não foram identificados nas cervejas. Este fato se deve porque os hidrocarbonetos terpênicos apresentam baixa solubilidade em água, de modo que a maior parte deles é volatilizada durante o processo de fervura do mosto. (PRAET et al, 2015)

Já as cetonas e os álcoois terpênicos, devido a presença do oxigênio em suas moléculas, já apresentam certa polaridade, e em função disso, podem se solubilizar no mosto e na cerveja (DURELLO et al., 2019). Dessa forma, todas as 4 cetonas oriundas das especiarias migraram para as cervejas, ressaltando que aquelas mais abundantes nas especiais também foram as que apresentaram maiores percentuais de área nas cervejas. Já os álcoois terpênicos, mesmo com certa polaridade, não apresentaram muita migração para as cervejas porque também não eram constituintes de presença significativa na análise dos compostos voláteis das especiarias. Contudo, quando se observa a cerveja mais concentrada (“Cerveja C”), percebe-se que esta migração dos álcoois terpênicos foi mais acentuada.

É sabido que alguns dos álcoois terpênicos presentes na “Cerveja C” como o α -terpineol e β -bisabolol podem ser oriundos do lúpulo, ao invés das especiarias,

já que também são compostos presentes nos óleos essenciais de lúpulos. Entretanto, como eles não estavam presentes na “Cerveja CT” e nem nas cervejas menos concentradas, admite-se que tais compostos sejam mais prováveis de terem origem na cúrcuma e canela, respectivamente.

Para os compostos que estão agrupados em “Outros”, cabe os seguintes comentários. O cinamaldeído e o formiato de cinamila, compostos presentes na canela, migraram de forma minoritária para as cervejas, mas contribuíram para a formação de alguns ésteres majoritários, conforme já descrito anteriormente. O óxido de cariofileno presente na cúrcuma e na pimenta não migrou para as cervejas por comportamento semelhante à de outros álcoois terpênicos já relatados. E o benzeno bis-butenil presente na canela não migrou para as cervejas pela mesma razão dos outros hidrocarbonetos que apresentam baixa solubilidade em água, com provável volatilização durante a fervura do mosto.

Por fim, outro ponto que não deve ser descartado para justificar o porquê de alguns compostos contidos nas especiarias não terem migrados para as cervejas é o fato de terem sofrido reações químicas e/ou bioquímicas (biotransformações pelas leveduras) durante o processo de produção. DURELLO et al. (2019) descreveram em seu trabalho que um estudo realizado por DIECKMANN et.al (1974) com o objetivo de investigar as reações sofridas pelo β -mirceno do lúpulo, concluiu que este composto foi responsável pela formação de mais de 40 compostos diferentes do β -mirceno, durante as etapas de fermentação e maturação de cervejas.

5.3.2.2 Compostos Relevantes para o Aroma e Sabor das Cervejas

A fração volátil presente na cerveja desempenha um importante papel na composição das características organoléticas da bebida. A análise de voláteis é uma ferramenta de suma importância para o controle de qualidade nas cervejarias, pois estes compostos estão diretamente relacionados à percepção do consumidor em relação ao produto final (BIAZON, 2008).

Conforme já pontuado anteriormente, o etanol e o gás carbônico são os principais metabólitos (primários) produzidos pela levedura durante a fermentação do mosto, mas eles têm pouca influência no *flavor* da cerveja (STEWART et al., 2017). Já os metabólitos secundários da fermentação, principalmente os ésteres, álcoois superiores, ácidos orgânicos, compostos de

enxofre e os compostos carbonílicos, juntamente com alguns constituintes do malte e do lúpulo, são os grandes responsáveis pelo sabor e o aroma das cervejas, mesmo quando presentes em concentrações muito baixas (STEWART et al., 2017; OLANIRAN et al, 2017)

Salvo algumas exceções, os álcoois superiores e os ésteres são constituintes voláteis desejáveis (*on-flavors*) enquanto os compostos carbonílicos e os sulfurosos são compostos indesejáveis (*off-flavors*) na cerveja. Contudo, a correta interpretação entre *on-flavors* e *off-flavors* vai depender do limiar de percepção de sabor (*threshold*) de cada componente e da sua concentração na cerveja. O *threshold* é definido como a concentração mínima na qual a sensibilidade gustativa a uma determinada substância ou alimento pode ser percebida. (BAMFORTH, 2011).

Para os compostos indesejáveis, espera-se que sua concentração na cerveja esteja abaixo do limiar de percepção. E para os compostos desejáveis, sua concentração deve estar acima do limiar de percepção, mas com certo limite para não predominar e prejudicar o equilíbrio do sabor da cerveja (STEWART et al., 2017; BAMFORTH, 2011)

Dessa forma, pode-se confrontar qualitativamente os tradicionais *on-flavors* e os *off-flavors* já consagrados na literatura com os compostos voláteis identificados nas cervejas. Assim, a Tabela 14 resume estes compostos tradicionais de sabor e aroma, juntamente com os que estavam presentes nas cervejas (representados pela letra P) e os que não estavam presentes (representados por traço) nas cervejas analisadas.

Também está apresentado o limiar de percepção (*threshold*) destes compostos em cervejas o que ajuda a compreender como alguns compostos (p.e. sulfurosos), mesmo em concentrações da ordem de ppb (partes por bilhão) podem ser perceptíveis e influenciar nas características organolépticas do produto final. Inclusive, por este mesmo motivo, optou-se por não colocar o percentual de área na Tabela 14, limitando-se a mostrar apenas a presença, para que o leitor não seja induzido a interpretar erroneamente que compostos em baixas proporções não são relevantes para a constituição do aroma e do sabor das cervejas

Além dos tradicionais *flavors* de cervejas, os principais compostos oriundos das especiarias que migraram para as cervejas deste estudo também foram adicionados à Tabela.

Os limiares de percepção que não foram encontrados na literatura por se tratarem de compostos que geralmente não estão presentes em cervejas e/ou porque não são importantes para a constituição do aroma/sabor de cervejas, estão marcados na Tabela por N/D (não disponível).

Tabela 14: Principais *flavors* que formam o aroma e o sabor de cervejas.

Composto	Limiar de percepção (ppm)	Cervejas				Aroma/Sabor
		CT	A	B	C	
Álcoois:						
Propanol	200-800	-	-	-	-	Alcoólico; Solvente
Isobutanol	70-200	-	P	P	P	Alcoólico
Álcool isoamílico	65-70	P	P	P	P	Banana, Vinoso; Doce
Hexenol	2,5-4	-	-	-	-	Gramma cortada
Etil-hexanol	N/D	-	-	P	-	Terroso; Floral
Álcool fenetílico	125	P	P	P	P	Floral; Rosas; Perfume
Álcool hidrocinâmico	N/D	-	P	P	P	Floral; Âmbar
Decanol	N/D	P	-	-	-	Gorduroso; Cítrico; Laranja
Undecanol	N/D	P	-	-	-	Rosa; Doce; Sabão
Álcool miristílico	N/D	P	P	-	-	Pungente
Ácidos:						
Ácido acético	130-200	-	-	-	-	Ácido; Vinagre; Adstringente
Ácido propanóico	100	-	-	-	-	Ácido; Vinagre; Leite
Ácido butanóico	2-3	-	-	-	-	Rançoso; Vômito; Leite
Ácido isovalérico	1,5	-	-	-	-	Rançoso; Queijo; Suor
Ácido hexanóico	8-11	-	-	-	-	Óleo vegetal; Suor
Ácido octanóico	15	P	P	P	P	Queijo de cabra; Sebo
Ácido decanóico	10	P	P	P	P	Aroma de bode
Ácido decenóico	N/D	P	P	P	P	Gorduroso; Queijo
Ácido dodecanóico	10	P	P	P	P	Gorduroso; Ceroso
Ácido tetradecanóico	N/D	P	P	P	P	Gorduroso; Ceroso; Queijo
Ácido hexadecanóico	N/D	P	P	P	P	Gorduroso; Ceroso
Ácido hexadecenóico	N/D	-	P	P	-	Gorduroso; Ceroso
Carbonílicos:						
Acetaldeído	25	-	-	-	-	Maça verde

Hexanal	15	-	-	-	-	Gramma; Frutado
Nonenal	0,05-0,1	-	-	-	-	Papel molhado
Cinamaldeído	6	-	P	P	P	Canela
2,3-Butadieno	0,1-0,15	-	-	-	-	Manteiga
2,3-Pentanodiona	N/D	-	-	-	-	Caramelo
Ésteres:						
Acetato de etila	3-6	P	P	P	P	Doce; Verniz; Solvente
Acetato de isoamila	1,2	P	P	P	P	Banana; Pera; Frutado
Acetato de isobutila	0,7	-	-	-	-	Abacaxi
Acetato de fenetila	0,4-3,8	P	P	P	P	Rosas; Mel; Doce
Hexanoato de etila	0,20-0,22	P	P	-	P	Maçã; Frutas; Doce
Octanoato de etila	0,9	P	P	P	P	Maçã; Frutas; Doce
Decanoato de etila	1,5	P	P	P	P	Frutado; Doce
Dodecanoato de etila	0,8	P	P	P	P	Frutado Floral
Cinamato de etila	N/D	-	P	P	P	Doce; Canela; Floral
Acetato de cinamila	15	-	P	P	P	Doce; Canela; Floral
Sulfurosos:						
DMS	0,03	-	-	-	-	Legumes Cozidos; Milho Doce
Sulfeto de hidrogênio	0,01-0,02	-	-	-	-	Ovo Podre
MBT	0,00001-0,002	-	-	-	-	Gambá
p-Menta-8-tiol-3-ona	0,000015	-	-	-	-	Urina de gato (catty)
DMTS	0,003	-	-	-	-	Cebola
Terpênicos:						
Nerolidol	0,02	P	P	P	-	Rosa; Cítrico
Linalol	0,01-0,08	P	-	-	P	Floral; Frutado
Citronelol	0,02	P	-	-	P	Limão; Lima
β-bisabolol	N/D	-	-	-	P	Floral
Ar-turmerona	N/D	-	P	P	P	Terroso; Picante; Cúrcuma
γ-Eudesmol	N/D	-	P	P	P	Amadeirado; Verde
α-Terpineol	2	-	-	-	P	Pinho; Amadeirado
Nerol (cis-geraniol)	0,5	P	-	-	P	Rosa doce
Farnesol	N/D	P	P	P	-	Floral
Outros:						
Vinilguaicol	0,05-0,55	P	P	P	P	Cravo
Sulfato ferroso	1-1,5	-	-	-	-	Metálico
Clorofenol	0,003-0,04	-	-	-	-	Hospitalar
Cloroanisol	0,000025	-	-	-	-	Mofo

Fonte: Dados da pesquisa juntamente com TAN & SIEBERT (2004); KISHIMOTO et al (2018); MARSILI & LASKONIS (2019); OLANIRAN et al. (2017); GUERRINI (2018); PORTO, 2023.

P = presente; traço = não identificado; N/D: não disponível.

Quando comparamos com os resultados de outras cervejas disponíveis na literatura, as principais conclusões relacionadas ao aroma e ao sabor das cervejas deste estudo podem ser resumidas da seguinte forma:

- Todas as cervejas apresentaram álcool isoamílico e acetato de isoamila que podem contribuir para um aroma e sabor que remetem à banana.
- Todas as cervejas continham álcool fenetílico que pode contribuir para um aroma perfumado que remete flores e rosas.
- Nenhuma bebida apresentou ácidos carboxílicos de cadeias curtas (acético e propanóico), resultando em uma cerveja não tão ácida.
- Os ácidos carboxílicos de cadeias maiores (octanóico, decanóico e dodecanóico) que estavam presentes em todas as cervejas, podem contribuir para um aroma e sabor de característica rançosa, a depender da concentração.
- Todas as bebidas apresentaram uma grande diversidade de ésteres, em especial aqueles que podem contribuir para aromas de frutas, em especial o de maçã e o já citado de banana.
- As cervejas que receberam a adição de especiarias apresentaram alguns derivados do cinamaldeído que podem remeter ao aroma e ao sabor da canela.
- Nenhuma cerveja apresentou acetaldeído que é um consagrado *off-flavor* da indústria cervejeira que poderia remeter ao aroma de maçã verde.
- Também não foi identificada a presença de outros aldeídos como o hexanal e o nonenal que poderiam remeter a aromas/sabores gramíneos e de papel molhado, respectivamente.
- As cervejas não apresentaram cetonas vicinais (2,3-butadieno e 2,3-pentanodiona) que também são consagrados *off-flavors* da indústria cervejeira e que poderiam remeter ao aroma e ao sabor amanteigado e caramelado, respectivamente.

- Nenhuma cerveja apresentou qualquer composto sulfuroso. Estas substâncias seriam extremamente indesejáveis, pois poderiam remeter a aromas/sabores como os de vegetais cozidos, ovo podre, urina de gato, gambá e cebola, dentre outros.
- As cervejas apresentaram boa variedade de compostos terpênicos, sendo alguns oriundos do lúpulo como o linalol, nerolidol, nerol e citronelol que podem contribuir com aromas florais, frutados e cítricos conforme mostrado na Tabela acima.
- Aquelas cervejas que receberam a adição de especiarias apresentaram uma maior diversidade de compostos terpênicos com destaque para as turmeronas e para o γ -eudesmol, oriundos predominantemente da cúrcuma e que podem contribuir para aromas e sabores terrosos e amadeirados, respectivamente.
- Todas as bebidas apresentaram vinilguaiacol que é um composto fenólico comumente encontrado em cervejas e que remete ao aroma e ao sabor de cravo.
- Nenhuma cerveja apresentou qualquer composto de cloro, como o clorofenol e o cloroanisol que seriam extremamente desagradáveis, pois poderiam remeter a aromas e sabores que remetem a materiais hospitalares e ao mofo, respectivamente.
- Também não foi identificada a presença de sulfato ferroso ou de outro composto semelhante que poderia remeter ao aroma e ao sabor metálico.

5.4 ANÁLISE SENSORIAL

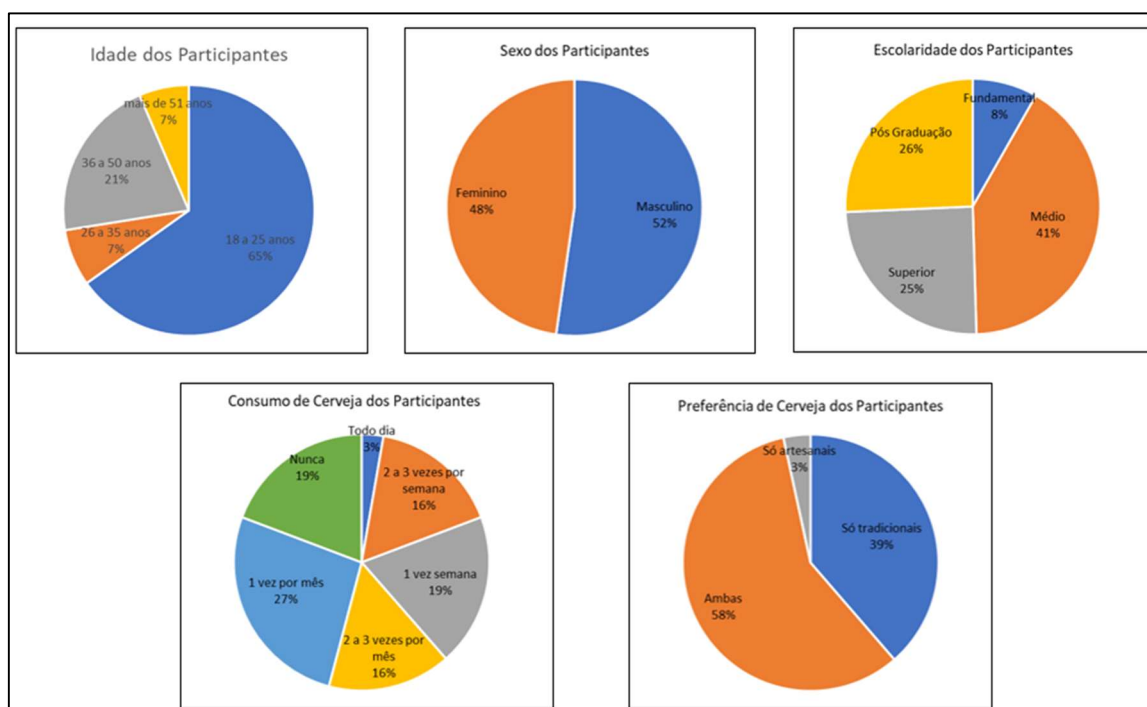
Segundo DELLA LUCIA et al. (2010), a análise sensorial é uma ferramenta científica que tem por objetivo principal estudar as reações, percepções e sensações do consumidor sobre as características dos produtos, incluindo a aceitação ou a rejeição.

DUTCOSKY (2011) relata que um grande número de provadores não treinados, preferencialmente consumidores em potencial do produto avaliado, deve ser utilizado para a realização dos testes de preferência e de aceitabilidade.

5.4.1 Perfil dos Participantes

Foram recrutados 109 provadores não selecionados e não treinados, maiores de 18 anos, de um público composto majoritariamente por alunos dos cursos técnicos, graduação e pós-graduação, além de professores, técnicos administrativos e demais funcionários do *campus* Maracanã, do Instituto Federal do Rio de Janeiro. Admite-se também que tenha participado parentes e/ou acompanhantes do referido público. O Gráfico 4 apresenta o perfil dos participantes da análise sensorial das cervejas.

Gráfico 4: Perfil dos participantes da análise sensorial.



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Percebe-se que a maioria dos participantes (65%) apresentava idade entre 18 e 25 anos, seguido por aqueles que apresentavam idade entre 36 e 50 anos (21%). Quanto ao sexo dos avaliadores, percebe-se que uma proporção quase igualitária, mas com pequeno predomínio para aqueles do sexo masculino (52%). Em relação ao grau de escolaridade, observa-se que aqueles que concluíram o ensino médio (41%) compõem a maior parte dos participantes, seguido pelos que têm pós-graduação (26%) e graduação (25%). Já em relação à frequência com que bebem cerveja, a maioria (27%) afirmou que bebe pelo menos uma vez

por mês, seguido de forma empatada, por aqueles que bebem uma vez por semana e por aqueles que nunca bebem, ambos compondo 19% do público participante. E quanto à preferência dos estilos de cervejas, a maior parte (58%) relatou que não tem predileção quanto às tradicionais ou artesanais, seguido pelo público que só bebe as tradicionais (39%), caracterizando o público que bebe apenas cervejas artesanais em 3%.

5.4.2 Resultados da Análise Sensorial

Os atributos aparência, aroma, sabor, amargor, espuma, bem como a impressão global de cada cerveja foram avaliados por meio de escala hedônica estruturada de nove pontos, na qual 1 representa “desgostei muitíssimo” e 9 representa “gostei muitíssimo”. A Tabela 15 apresenta os resultados médios e o desvio padrão para cada atributo das amostras de cerveja. Os dados foram tratados através de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação múltipla das médias (Tukey), em nível de 5% de significância ($p < 0,05$), com o auxílio do software estatístico XLSTAT 2022.

Tabela 15: Resultado da análise sensorial (por atributo) - escala de 9 pontos.

Cerveja	Aparência	Aroma	Sabor	Amargor	Espuma	Impressão Global
CT	7,38 ^a ± 1,59	6,50 ^{ab} ± 1,58	6,42 ^a ± 2,14	6,18 ^a ± 2,16	6,07 ^a ± 1,86	6,65 ^a ± 1,93
A	7,37 ^a ± 1,54	6,27 ^a ± 1,74	6,40 ^a ± 2,20	5,98 ^a ± 2,24	6,06 ^a ± 1,94	6,60 ^a ± 1,82
B	7,17 ^a ± 1,62	6,65 ^{ab} ± 1,73	6,41 ^a ± 2,10	6,21 ^a ± 2,35	6,21 ^a ± 2,04	6,65 ^a ± 2,03
C	7,03 ^a ± 1,83	6,90 ^b ± 1,57	6,28 ^a ± 2,36	6,21 ^a ± 2,38	6,36 ^a ± 1,82	6,55 ^a ± 1,96

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Letras iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os testes estatísticos mostraram que não existe diferença significativa entre as amostras das cervejas analisadas. Apenas para o atributo aroma que a análise de variância resultou em dois grupos com diferença significativa. De fato, conforme já descrito anteriormente, todas cervejas foram produzidas pela mesma receita, diferindo apenas na concentração de especiarias que foram

adicionadas, o que não resultou em muitas diferenças entre as mesmas. Dessa forma, sugere-se como futuros estudos, a realização de testes sensoriais mais direcionados que busquem a identificação de aromas/sabores específicos capazes de serem relacionados com os *on-flavors* e *off-flavors* tradicionais da cerveja.

O atributo aparência foi o que apresentou as melhores avaliações quando comparado com os demais atributos, e suas médias se situaram entre os termos hedônicos “gostei moderadamente” e “gostei muito”. Por serem cervejas que não passaram pelo processo de filtração, todas elas apresentavam uma certa turbidez e uma cor característica conforme já descrito no item 5.1 e apresentadas na Figura 21. É sabido que a maior parte da cerveja consumida no mundo é a do estilo *Pilsen* produzidas pelas grandes cervejarias e que são caracterizadas pela cor clara e pela ausência de turbidez já que passam pelo processo de filtração. Portanto, para muitos consumidores comuns, a referência de cerveja clara e translúcida pode ser considerado como um fator positivo para a aparência da bebida. Assim sendo, a cerveja que recebeu a melhor avaliação foi a “Cerveja CT”, já que era a cerveja mais clara e menos turva quando comparada com as demais.

O atributo aroma apresentou diferença significativa entre a “Cerveja A” e a “Cerveja C”, e as médias ficaram situadas entre os termos hedônicos “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. A “Cerveja C” era a mais intensa em aromas devido à já constatada maior variedade de compostos voláteis e devido a maior concentração das especiarias adicionadas. E esta “Cerveja C” foi a que recebeu a melhor avaliação para este atributo. Assim sendo, pode-se admitir que o aroma causado pela adição das especiarias foi interpretado pelos avaliadores como um ponto positivo para as cervejas. Entretanto, SÁ (2023) avaliando o aroma de cervejas adicionadas de açafrão concluiu que este parâmetro foi pior avaliado na análise sensorial quando comparado com a cerveja controle.

Para a avaliação do sabor das cervejas, o resultado do teste sensorial também resultou em médias compreendidas entre os termos “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. Mas neste caso, os participantes julgaram o oposto do que avaliaram em relação ao aroma, ou seja, a cerveja que recebeu a pior avaliação de sabor foi a cerveja que recebeu a maior concentração de especiarias. Dessa forma, pode-se admitir que para os avaliadores, a adição das

especiarias contribuiu negativamente para o atributo sabor das cervejas. NUNES FILHO (2017) trabalhando com cervejas adicionadas com cúrcuma, deduziu que por ser uma especiaria pouco utilizada na arte cervejeira, alguns avaliadores têm dificuldade de considerar a cúrcuma como uma especiaria que contribui positivamente para o sabor da cerveja. Já SÁ (2023) avaliando cervejas adicionadas de açafrão concluiu que a menos concentrada na especiaria apresentou resultado para sabor pior que o da cerveja controle, embora a que continha maior concentração de açafrão apresentou a melhor avaliação de todas para o atributo sabor.

O atributo amargor foi o que apresentou as piores avaliações quando comparado com os demais atributos, e suas médias se situaram entre os termos “indiferente” e “gostei moderadamente”. Conforme visto anteriormente nas análises de IBU, as cervejas que receberam mais especiarias foram as que apresentaram maior amargor. Dessa forma, para os avaliadores, as cervejas mais amargas foram avaliadas com as melhores médias e, portanto, pode-se admitir que o maior amargor foi considerado como ponto positivo para a análise sensorial das cervejas. DUCRUET et al. (2017) analisando cervejas com *goji berries* concluíram que as cervejas especiais apresentaram maiores resultados de amargor e melhores resultados sensoriais para este atributo quando comparados com a cerveja controle.

Quanto à qualidade da espuma, as médias também ficaram situadas entre os termos “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. Os melhores resultados apontam para as “Cervejas C e B”, podendo concluir que para os avaliadores, a adição das especiarias contribuiu de forma positiva para a qualidade da espuma. Este resultado também está condizente com o esperado na literatura, pois segundo BAMFORTH (2011), as proteínas advindas das especiarias contribuem com a estabilidade da espuma da cerveja.

Finalmente, para a impressão global das cervejas, percebe-se que os avaliadores julgaram de forma empatada a “Cerveja CT” e a “Cerveja B” como as melhores bebidas. Porém, quando se avalia de forma isolada cada atributo, percebe-se que as melhores avaliações foram dadas para as “Cervejas C e B”. Mas, na impressão global, os avaliadores não incluíram a “Cerveja C” neste patamar mais elevado.

Dessa forma, como conclusão desta parte da análise sensorial, podemos deduzir que as cervejas não apresentaram diferenças significativas entre si e que todas foram bem aceitas pelos provadores, já que a maior parte das médias dos resultados ficaram compreendidas entre “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente” (acima de 6).

Em relação aos atributos, resumidamente, pode-se concluir que a “Cerveja CT” foi melhor avaliada na aparência e no sabor, enquanto as cervejas que receberam especiarias (A, B e C) foram melhores avaliadas no aroma, no amargor e na qualidade da espuma.

O outro objetivo da análise sensorial era de avaliar a intenção de compra do consumidor. Para tanto, os avaliadores se basearam na escala hedônica estruturada de cinco pontos, na qual 1 representa “Certamente não compraria” e 5 representa “Certamente compraria”. A Tabela 16 apresenta os resultados médios e o desvio padrão da intenção de compra de cada cerveja, juntamente com o tratamento dos dados através de ANOVA e teste de Tukey, em nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Tabela 16 – Resultado da intenção de compra - em escala de 5 pontos.

Cerveja	Intenção de Compra
CT	3,40 ^a ± 1,29
A	3,50 ^a ± 1,27
B	3,51 ^a ± 1,29
C	3,44 ^a ± 1,33

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Letras iguais na mesma coluna indicam que as amostras não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Percebe-se que todas as cervejas tiveram uma razoável aceitação de compra, já que os resultados das médias ficaram compreendidos entre os termos “não sei se compraria” e “possivelmente compraria” (acima de 3). Os testes estatísticos mostraram que não houve diferença significativa entre as amostras analisadas.

As cervejas que receberam a adição de especiarias (A, B e C) foram as melhores avaliadas, enquanto a “Cerveja CT” obteve a menor avaliação de intenção de compra. Dentre as cervejas com especiarias, a “Cerveja B”, de concentrações intermediárias, foi a que apresentou o melhor resultado.

GASIŃSKI et al. (2020) trabalhando com cervejas adicionadas com manga também concluíram que as cervejas com fruta apresentaram melhores resultados que a cerveja controle. Já YIN et al. (2021) trabalhando com cervejas adicionadas com framboesa encontraram resultados de aceitação inferiores à cerveja controle. Já KIM et al. (2017) analisando cervejas com adição de pimenta concluíram que as de concentrações intermediárias da especiaria resultaram em cervejas com melhores resultados que a controle, enquanto que a cerveja muito concentrada em pimenta apresentou aceitação pior que a controle.

6. CONCLUSÃO

Em relação à caracterização físico-química das cervejas elaboradas neste trabalho, pôde-se concluir que apenas o parâmetro cor apresentou resultado acima do esperado para as cervejas do estilo *Belgian Blond Ale*, quando comparadas com os resultados previstos no guia BJCP e na simulação do BeerSmith. Admite-se que o uso do malte *Melanoidina* seja o maior responsável por esta diferença, já que, dependendo do fornecedor, tem-se uma ampla variação para a contribuição da cor da bebida. Os parâmetros teor alcóolico e amargor da cerveja estavam dentro do esperado para o referido estilo de cerveja.

A adição das especiarias aumentou suavemente o teor alcóolico (em até 11,6%), o pH (em até 1,0%), o extrato primitivo (em até 5,8%) e o conteúdo energético (em até 6,0%) quando comparadas com a cerveja controle. Os parâmetros densidade, extrato real e extrato aparente apresentaram suaves reduções, de até 0,2%, de até 5,5% e de até 14,1%, respectivamente, quando comparados com os resultados da cerveja controle. O amargor foi o único parâmetro que apresentou significativo aumento (de até 112,5%) por conta da adição das especiarias, já que alcaloides presentes na pimenta contribuem para este aumento de IBU, conforme já descrito por NUNES FILHO (2017).

A adição das especiarias aumentou os teores dos compostos bioativos, contribuindo para uma bebida com mais benefícios para a saúde do consumidor. O teor de compostos fenólicos totais aumentou em até 9,1% quando comparados com a cerveja controle e a atividade antioxidante aumentou em até 167,6%. Ambos os acréscimos foram proporcionais às quantidades de especiarias adicionadas, sendo, portanto, a “Cerveja C” a que apresentou qualidade superior em termos de proteção contra o desenvolvimento de câncer, doenças cardiovasculares, diabetes, osteoporose e doenças degenerativa.

Em relação às análises dos compostos voláteis, pôde-se concluir que todas as cervejas apresentaram o acetato de isoamila, álcool fenetílico e vinilguaiaicol, que remetem ao *flavor* de banana, flores e de cravo, respectivamente, que são comumente encontrados em cervejas que utilizam leveduras do tipo *Abbaye*. A adição das especiarias nas cervejas contribuiu significativamente para a presença de derivados do cinamaldeído que remetem ao aroma e sabor da canela nas bebidas. As especiarias também aumentaram a diversidade de

ésteres que contribuem para sabores de diversas frutas, e de compostos terpênicos que podem remeter a aromas e sabores florais, frutados, cítricos e amadeirados. Cabe citar que nenhuma cerveja apresentou compostos indesejáveis (*off-flavors*), já tradicionalmente consagrados na literatura, tais como: compostos sulfurosos (DMS, H₂S, MBT, DMTS), aldeídos (acetaldeído), cetonas vicinais (diacetil), e compostos de cloro e de ferro; que seriam extremamente desagradáveis para o aroma e sabor das cervejas.

Como sugestão de trabalhos futuros, vale ressaltar a importância de análises quantitativas destes compostos voláteis a fim de confrontar as concentrações encontradas com os limiares de percepção (*thresholds*) para avaliar o quanto cada composto pode realmente impactar no aroma e sabor das cervejas. A quantificação de curcumina e de piperina nas especiarias e cervejas também é uma sugestão para trabalhos futuros. O desenvolvimento de bebidas com outros adjuntos não convencionais que alie a temática cerveja e saúde, bem como a determinação da atividade antioxidante in vivo também podem ser temas para futuros estudos.

Os resultados da análise sensorial permitiram concluir que a adição das especiarias não alterou de forma significativa os principais atributos avaliados. O melhor resultado ficou para a aparência com avaliações situadas entre os termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”. Os demais atributos (aroma, sabor, amargor e espuma) ficaram compreendidos entre “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”, sendo que a “Cerveja B” e a “Cerveja CT” ficaram empatadas na melhor avaliação de impressão global. Quanto à intenção de compra, todas as cervejas que receberam adição de especiarias tiveram avaliação superior à “Cerveja CT”, sendo que a “Cerveja B” novamente foi a melhor avaliada.

Portanto, pode-se concluir que a adição de cúrcuma, pimenta e canela em cervejas, pode ser considerada uma boa e inovadora proposta de produção em escala industrial, pois traz benefícios para a saúde do consumidor, agrega sabores e aromas diferenciados à bebida, além de terem se mostrado como as cervejas com melhor potencial de mercado (intenção de compra) quando comparadas com a cerveja que não recebeu adição de especiarias

REFERÊNCIAS

- AGRÁRIA. Catálogo de produtos. Disponível em www.agraria.com.br/downloads/maltes-catalogo.pdf. Acesso em: 05 jul. 2023.
- AL-SULTAN, S. I. The effect of *Curcuma longa* (turmeric) on overall performance of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, v. 2, n. 5, p. 351-353, 2003.
- ALMAGUER, C. et al. *Humulus lupulus*—a story that begs to be told. A review. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 120, n. 4, p. 289-314, 2014.
- ALONSO, J. Cúrcuma. *Tratado de Fitofármacos e Nutracêuticos*, São Paulo, A C Farmacêutica, p. 364 – 373, 2016.
- ANDERSON, H. E. et al. Profiling of contemporary beer styles using liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry, multivariate analysis, and machine learning techniques. *Analytica chimica acta*, v. 1172, p. 338668, 2021.
- AQUARONE, E. et al. *Biotecnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos*. São Paulo: Edgard Blucher, v. 4, 523 p, 2001.
- AQUILANI, B. et al. Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: An exploratory study of consumer preferences. *Food quality and preference*, v. 41, p. 214-224, 2015.
- ARAÚJO, F. B. et al. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. *Food Science and Technology*, v. 23, p. 121-128, 2003.
- BAMFORTH, C. W. Beer, carbohydrates and diet. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 111, n. 3, p. 259-264, 2005.
- BAMFORTH, C. W. *Beer is Proof God Loves Us: Reaching for the Soul of Beer and Brewing*. FT Press, 2011.

BARBETTA, P. V. C. et al. Physico-chemical and microbial analysis of Wheat Craft Beer added with Ginger (*Zingiberofficinale roscoe*). Blucher Biochemistry Proceedings, v. 1, n. 2, p. 263-266, 2015.

BARNES, T. The complete beer fault guide v. 1.4. London Amateur Brewers, 2011. Disponível em: https://londonamateurbrewers.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/Complete_Beer_Fault_Guide.pdf. Acesso em 05 jan. 2024

BARRANCO, G. S. A.; VILLARREAL, C. G. N. Evaluación del efecto de la temperatura en el proceso fermentativo en la producción de cerveza artesanal tipo Blonde Ale. Fundación Universidad de América, Bogotá, 2021.

BARROS, C.; GHESTI, G. Malte: essência da cerveja. Brasília: Universidade de Brasília, 30 p., 2016.

BARTH-HASS. Barthhaas Report 2022/23. Nuremberg, July 2023. Disponível em: https://www.barthhaas.com/fileadmin/user_upload/01-barthhaas-2022/Resources/BarthHaas_Report/2023/WEB_BarthHaas_Report_2022_23_EN.pdf. Acesso em: 21 ago. 2023.

BHATIA, S. et al. Novel applications of black pepper essential oil as an antioxidant agent in sodium caseinate and chitosan based active edible films. International Journal of Biological Macromolecules, v. 254, p. 128045, 2024.

BERTUZZI, T. et al. Targeted healthy compounds in small and large-scale brewed beers. Food chemistry, v. 310, p. 125935, 2020.

BIAZON, C. L. Utilização de adsorventes durante o processo de microextração em fase sólida de flavours de cerveja. Dissertação (Mestrado), UFRS, Porto Alegre, 2008.

BJCP (2021). Guia de estilos de cerveja. Beer Judge Certification Program. Disponível em: <<https://www.bjcp.org>>. Acesso em: 15 mai 2023.

BORTOLETO, G. G.; GOMES, W. P. C. Determinação de compostos orgânicos voláteis em cervejas artesanais por cromatografia gasosa e amostragem por headspace. Research, Society and Development, v. 9, n. 9, p. e600997746-e600997746, 2020.

BORTOLI, D. A. DA S. et al. Leveduras e produção de cervejas-Revisão. *Bioenergia em Revista: Diálogos* (ISSN: 2236-9171), v. 3, n. 1, p. 45-58, 2013.

BOULTON, C.; QUAIN, D. *Brewing yeast and fermentation*. John Wiley & Sons, 2008.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 65, de 10 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. Brasília, DF: MAPA, 2019. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-65-de-10-de-dezembro-de-2019-232666262>>. Acesso em 05 ago. 2023.

BREWERS ASSOCIATION. Industry Updates: U.S. Bureau of labor statistics data suggests improved brewery safety. *Brewers Association*. Retrieved April 2, 2017. Disponível em: <<https://www.brewersassociation.org>>. Acesso em 15 jun. 2023.

BUSCH, J. Advanced mashing techniques. 2015. Disponível em: <<https://www.morebeer.com/articles/advancedmashing>>. Acesso em: 05 jun. 2023.

CARVALHO, M. P. Elaboração de cerveja estilo saison adicionada de jaboticaba sabará (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg)—capacidade antioxidante e característica sensoriais. Dissertação (Mestrado), UFPB, João Pessoa, 2021.

CARVALHO, L. G. Dossiê Técnico. Produção de cerveja. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CASTRO, T. L. A. D. et al. Produção de cerveja artesanal com pimenta dedo-de-moça comercial. *Revista Fitos*, Rio de Janeiro, Supl(1): 73-78, 2022.

CERVBRASIL. Dados do setor cervejeiro nacional. 2022. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor>. Acesso em: 18 ago 2023.

CHEMJONG, M et al. Bioactive compounds, types, stability and health benefits. *Plant Archives*, 21, 1863-1869, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.V21.S1.300>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

CHU, E.Y., et al. A cultura da pimenta do reino. Brasília, DF: EMBRAPA, 2.ed., 2006.

COELHO NETO, D. M. et al. Conceitos químicos envolvidos na produção da cerveja: Uma Revisão. Revista Virtual de Química, v. 12, n. 1, p. 1-28, 2020.

COIMBRA, A. R. et al. Cerveja e saúde. 2009. Disponível em: <http://www.ff.uc.pt/~mccast/nutricao/material/Cerveja_saude.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

COSTA, P. A. S. O. Influência de parâmetros de processo na produção de cerveja de trigo. Dissertação (Mestrado). UFPE, Recife, 2021.

COSTA, P. M. C. et al. Blond ale craft beer production with addition of pineapple pulp. Journal of Experimental Agriculture International, v. 38, n. 2, p. 1-5, 2019.

DA CONCEIÇÃO, S. R. et al. Perfil cromatográfico da cerveja do fundo de dorna recuperada por microfiltração. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 4, p. 17884-17897, 2020.

DA SILVA, A. A. Produção, caracterização físico-química e análise sensorial de cerveja artesanal de trigo adicionada de polpa e casca de seriguela (*Spondias purpurea* L.) e casca de laranja (*Citrus sinensis* L.). Dissertação (Mestrado), UFC, Fortaleza, 2018.

DA SILVA, G. C. et al. Method development by GC–ECD and HS-SPME–GC–MS for beer volatile analysis. Food chemistry, v. 167, p. 71-77, 2015.

DA SILVA, M. J. S. Produção de cerveja artesanal tipo Weiss adicionada de manga cv. espada. Tese (Doutorado), UFCG, Campina Grande, 2020.

DA SILVA, R. N. P. et al. Cervejas: relação entre estilos; compostos fenólicos e capacidade antioxidante. Research, Society and Development, 10(3), e42210313471-e42210313471, 2021.

DANELLI, D. Influência da técnica de “dry hopping” e da aplicação de β -glicosidases no perfil de compostos voláteis de cervejas. TCC (Graduação), UFRGS, Porto Alegre, 2015.

DANIELS, R. Designing great beers: The ultimate guide to brewing classic beer styles. Brewers Publications, 1998.

DE ASSIS, G. P. et al. Análises físico-químicas de cerveja tipo IPA da Região Sul Fluminense. Revista Eletrônica TECCEN, v. 13, n. 2, p. 47-51, 2020.

DE ASSIS, H. M. et al. Cerveja artesanal: Componentes e processos produtivos. Congresso Internacional da Agroindústria: Inovação, Gestão e Sustentabilidade na Agroindústria. Recife, PE, 2021.

DE CARVALHO, D. S.; ZAMBIAZI, R. C. Avaliação do processo fermentativo de cerveja Pilsen pelo uso de diferentes concentrações de *saccharomyces cerevisiae*. Brazilian Journal of Food & Nutrition/Alimentos e Nutrição, v. 22, n. 3, 2011.

DE MELO, A. M. et al. Extração, Identificação e estudo do potencial antimicrobiano do óleo essencial de pimenta-preta (*Piper Nigrum L.*), Biomonitorado por *Artemia Salina* Leach. Holos, v. 1, p. 1-16, 2021.

DE KEUKELERIE, D. Fundamentals of beer and hop chemistry. Química Nova, n. 23, p. 108-112, 2000.

DELLA LUCIA, S. M. et al. Expectativas geradas pela marca sobre a aceitabilidade de cerveja: estudo da interação entre características não sensoriais e o comportamento do consumidor. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, v. 28, p. 11-24, 2010.

DRAGONE, G. et al. Use of concentrated worts for high gravity brewing by continuous process: new tendencies for the productivity increase. Food Science and Technology, v. 27, p. 37-40, 2007..

DOSOKY, N. S. et al. Volatiles of black pepper fruits (*Piper nigrum L.*). Molecules, v. 24, n. 23, p. 4244, 2019.

DUARTE, M. L. R. et al. A cultura da pimenta-do-reino. Brasília, DF: EMBRAPA, 2.ed., 73p, 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/392085/a-cultura-da-pimenta--do-reino>>. Acesso em: 20 de ago. 2023.

DUCRUET, J. et al. Amber ale beer enriched with goji berries—The effect on bioactive compound content and sensorial properties. Food chemistry, v. 226, p. 109-118, 2017.

DURELLO, R. S. et al. Hop chemistry. Química Nova, v. 42, p. 900-919, 2019.

DUTCOSKY, S. D. Análise sensorial de alimentos. In: Análise sensorial de alimentos. 2011. p. 426-426.

EUMANN, M.; SCHILDBACH, S. Water sources and treatment in brewing. Journal Institute of Brewing, n. 118, p. 12- 21, 2012.

FERNANDES, L. M. Viabilidade de produção e caracterização de cerveja artesanal com acerola (*Malpighia emarginata* DC). Dissertação (Mestrado), UFPB, João Pessoa, 2017.

FERREIRA, I. C. F. R.; ABREU, R. Stress oxidativo, antioxidantes e fitoquímicos. Bioanálise, p. 32-39, 2007.

FIRJAN. Tecnologia Cervejeira. Rio de Janeiro, RJ: SENAI/GED, 2014.

FREITAS, G. L. Potencial antioxidante e compostos fenólicos na cerveja, chopp, cevada (*Hordeum vulgare* L.) e no bagaço de brassagem. Dissertação (Mestrado), UFSC, Florianópolis, 2006.

GANBAATAR, C. et al. Liquid chromatographic determination of polyphenenols in Czech beers during brewing proces. Potravinarstvo, vol. 9, p. 24-30, 2015.

GASIŃSKI, A. et al. Volatile compounds content, physicochemical parameters, and antioxidant activity of beers with addition of mango fruit (*Mangifera indica*). Molecules, 25(13), p. 3033, 2020.

GERHÄUSER, C. Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. European Journal of Cancer, v. 41, n. 13, p. 1941-1954, 2005.

GHISELLI, A. et al. Beer increases plasma antioxidant capacity in humans. The Journal of nutritional biochemistry, v. 11, n. 2, p. 76-80, 2000.

GIACOSA, A. et al. Mediterranean Way of Drinking and Longevity. Critical reviews in food science and nutrition, v. 56, n. 4, p. 635-640, 2016.

GRANATO, D. et al. Characterization of Brazilian lager and brown ale beers based on color, phenolic compounds, and antioxidant activity using chemometrics. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 91, n. 3, p. 563-571, 2011.

GRIGIO, M. L. et al. Avaliação e comparação da atividade antioxidante de camu-camu (*myrciaria dubia*) com outros sete frutos. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 24, 2016, São Luis. Fruticultura: fruteiras nativas e sustentabilidade. São Luis, MA: SBF, 2016.

GRUENWALD, J. et al. Cinnamon and health. Critical reviews in food science and nutrition, v. 50, n. 9, p. 822-834, 2010.

GUERRINI, L. et al. A technological solution to modulate the aroma profile during beer fermentation. Food and bioprocess technology, v. 11, p. 1259-1266, 2018.

GUGLIELMOTTI, M. et al. Use of olive (*Olea europaea* L.) leaves as beer ingredient, and their influence on beer chemical composition and antioxidant activity. Journal of Food Science, v. 85, n. 8, p. 2278-2285, 2020.

HAMPSON, T. O grande livro da cerveja: informações atualizadas sobre cervejas e as grandes cervejarias em todo mundo. (Tradução Celso Nogueira, Rose Marie Ziegelmaier). São Paulo: Publifolha, 2014.

HEGGART, H. et al. Measurement of brewing yeast viability and vitality: a review of methods. Technical quarterly-Master Brewers Association of the Americas, v. 37, n. 4, p. 409-430, 2000.

BAXTER, E. D.; HUGHES, P. S. Beer: Quality, safety and nutritional aspects. Royal Society of Chemistry: Cambridge, 2001.

HUTKINS, R. W. Microbiology and technology of fermented foods. John Wiley & Sons, 2008.

KARABÍN, M. et al. Biologically active compounds from hops and prospects for their use. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, v. 15, n. 3, p. 542-567, 2016.

KIM, C. Y. et al. Addition of green pepper enhanced antioxidant potential and overall acceptance of beer. Int. J. Sci, v. 3, p. 49-54, 2017.

KISHIMOTO, T. et al. Simulation of Pilsner-type beer aroma using 76 odor-active compounds. Journal of bioscience and bioengineering, v. 126, n. 3, p. 330-338, 2018.

KRONENBERGER, G. et al. Cervejas especiais: um levantamento bibliográfico sobre alterações físico-químicas, presença de compostos bioativos e grau de aceitação do produto. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, v. 2, n. 12, p. 55-80, 2021.

KUNZE, W.; Technology, Brewing and Malting. VLB Berlin: Berlin, 6a. ed, 2014.

LALLEMAND. Technical data sheet Abbaye Belgian-style Ale yeast. Disponível em: <<https://www.lallemantbrewing.com/en/global/products/abbaye-belgian-ale-yeast>>. Acesso em: 16 dez. 2023.

LEITE, I. B. et al. Especiarias comerciais: análise de polifenóis, compostos bioativos e capacidade antioxidante. Journal of Fruits and Vegetables, v. 2, p. 70-83, 2016.

LIMA, E. O. Plantas e suas propriedades antimicrobianas: uma breve análise histórica. Yunes, RA; Calixto JB. Plantas medicinais sob a ótica da química medicinal moderna. Santa Catarina: Argos Editora Universitária, p. 481-501, 2001.

LIMA, M. D. P. et al. Constituintes voláteis das folhas e dos galhos de *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Lauraceae). Acta amazônica, v. 35, p. 363-366, 2005.

LIU, L. et al. Fermented beverage and food storage in 13,000 y-old stone mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian ritual feasting. *Journal of Archaeological Science: Reports*, v. 21, p. 783-793, 2018.

LIVENS, S. Beer: Fermentation. *Encyclopedia of Food and Health*, p. 339-344, 2016.

MACEDO, N. B. Pimenta Rosa (*Schinus terebinthifolius Raddi*) compostos presentes nos frutos e suas atividades antioxidante e antiinflamatória. Dissertação (Mestrado), UFS, Aracajú, 122 p, 2018.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Anuário da Cerveja 2022. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/SDA, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2022>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Lúpulo no Brasil: perspectivas e realidades. Brasília, DF: MAPA/SAF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/livro_lupulo-no-brasil-perspectivas-e-realidade_baixa_semmarcacao.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

MARCONDES, L. Moagem do Malte. Jornada Cervejeira, 2016. Disponível em: <https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/01_moa gem_jornada_8h_1601583349089.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

MARMOT, M.; BRUNNER, E. Alcohol and cardiovascular disease: the status of the U shaped curve. *BMJ: British Medical Journal*, v. 303, n. 6802, p. 565, 1991

MARSILI, R. T.; LASKONIS, C. R. Evaluation of sequential-SBSE and TF-SPME extraction techniques prior to GC-TOFMS for the analysis of flavor volatiles in beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, v. 77, n. 2, p. 113-118, 2019.

MARTINS, M. C.; RUSIG, O. Cúrcuma: um corante natural. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 1, p. 56-65, 1992.

MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços). Estatísticas de Comércio Exterior. Brasília, DF: MDIC/SCE, 2023. Disponível

em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>>. Acesso em: Acesso em: 31 jul. 2023.

MESQUITA, J. S. et al. Production and physicochemical evaluation of a pure malt craft beer with the addition of Extracts of *Syzygium aromaticum* and *Cinnamomum zeylanicum*. *Research, Society and Development*, 9(8), 2020.

MEUSSDOERFFER, F. G. et al. A comprehensive history of beer brewing. *Handbook of brewing: Processes, technology, markets*, p. 1-42, 2009.

MORADO, R. Larousse da cerveja: A história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo. São Paulo: Alaúde, 2017.

MORENO-LLAMAS, A.; DE LA CRUZ-SÁNCHEZ, E. Moderate Beer Consumption Is Associated with Good Physical and Mental Health Status and Increased Social Support. *Nutrients*, v. 15, n. 6, p. 1519, 2023.

MOSHER, R. Degustando cerveja: Tudo o que você precisa saber para avaliar e apreciar a bebida. São Paulo: Editora Senac, 2021.

MUXEL, A. A. Química da cerveja: uma abordagem química e bioquímica das matérias-primas, processo de produção e da composição dos compostos de sabores da cerveja. Curitiba: Appris, 2022.

NARDINI, M.; GARAGUSO, I. Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. *Food Chemistry*, v. 305, p. 125437, 2020.

NARDINI, M.; FODDAI, M. S. Phenolics profile and antioxidant activity of special beers. *Molecules*, *Molecules*, v. 25, n. 11, p. 2466, 2020.

NASCIMENTO, M. E. et al. Influência da composição mineral da água na qualidade da cerveja. *Ciência e Tecnologia de Alimentos: o avanço da ciência no Brasil*, v. 1, n. 1, p. 121-131, 2022.

NELSON, D. L.; COX M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. São Paulo: Artmed, p. 1336, 2014.

NETTO JR, N. L. Cúrcuma. *Racine*, v. 9, n. 5, p 51-55, 1999.

NGUYEN, C. M. et al. Production of l-and d-lactic acid from waste *Curcuma longa* biomass through simultaneous saccharification and cofermentation. *Bioresource technology*, v. 146, p. 35-43, 2013.

NOGUEIRA, L. C. et al. Moderate alcoholic beer consumption: The effects on the lipid profile and insulin sensitivity of adult men. *Journal of Food Science*, v. 82, n. 7, p. 1720-1725, 2017.

NOGUEIRA, L. C. Uso da cúrcuma longa no tratamento da obesidade e inflamação: um estudo de caso. Monografia (Pós-graduação Lato sensu), Universidade Cruzeiro do Sul, 2018.

NUNES FILHO, R. C. Produção de cerveja artesanal estilo *Red Ale* com adição de especiarias. Dissertação (Mestrado), UEL, Londrina, 2017

NUNES FILHO, R. C. et al. Effects of adding spices with antioxidants compounds in red ale style craft beer: A simplex-centroid mixture design approach. *Food Chemistry*, v. 365, p. 130478, 2021.

OLANIRAN, A. O. et al. Flavour-active volatile compounds in beer: production, regulation and control. *Journal of the Institute of Brewing*, v. 123, n. 1, p. 13-23, 2017.

OLIVEIRA, N. A. M. Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja. Monografia (Pós-graduação Lato sensu), UFMG, 44p, 2011.

PALMER, J. *How To Brew: Everything You Need to Know to Brew Great Beer Every Time*. Boulder: Brewers Publications, 4a. ed, 2017.

PEREIRA, D. T. V. et al. Perfil de compostos voláteis de um novo estilo de cerveja. *Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil*, v. 1, n. 1, p. 291-308, 2021

PÉRET-ALMEIDA L. et al. Separation and determination of the physico-chemical characteristics of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. *Food Research International*, v. 38, p. 1039 -1044, 2005.

PIAZZON, A. et al. Characterization of Phenolics Content and Antioxidant Activity of Different Beer Types. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 58, n. 19, p. 10677-10683, 2010.

PIMENTA, L. B. et al. A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 37, n. 3, p. 26715, 2020.

PINTO, L. I. F. et al. Desenvolvimento de cerveja artesanal com acerola (*Malpighia emarginata* DC) e abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 10, n. 4, p. 67-71, 2015.

PINTO NETO, W. P. Avaliação da eficiência do reciclo de leveduras na produção de cerveja de trigo: caracterização e ajustes do perfil metabólico e organoléptico. Dissertação (Mestrado). UFPE, Recife, 2019.

PIZONE, L. H. I. Elaboração e caracterização de uma cerveja artesanal estilo American Blonde Ale, incorporada com extrato das folhas de *Monteverdia ilicifolia* (Mart. Ex Reissek) Biral. TCC (Graduação). UTFPR, Pato Branco, 2022.

POLITEO, O. et al. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils of twelve spice plants. *Croatica Chemical Acta*, v. 4, n. 79, p. 545-552, 2006.

PORTO, S. V. Análise exploratória do perfil de voláteis em cervejas Pilsen artesanais e industriais utilizando cromatografia a gás por ionização em chama e espectrômetro de massas. Dissertação (Mestrado), UFMG, Belo Horizonte, 2023.

PRAET, T. et al. Changes in the hop-derived volatile profile upon lab scale boiling. *Food Research International*, v. 75, p. 1-10, 2015.

QIANG, Y et al. Spatial variation of volatile organic compounds and antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa* L.) essential oils harvested from four provinces of China. *Current Research in Food Science*, v.4, p. 882-890, 2021.

RAHMAN, M. J. et al. Identification of hydroxycinnamic acid derivatives of selected canadian and foreign commercial beer extracts and determination of their antioxidant properties. *LWT*, v. 122, p. 109021, 2020.

RAMPAZZO, V. Caracterização da composição fenólica e capacidade antioxidante de cervejas comerciais de diferentes processos de fermentação. TCC (Graduação), UTFPR, Campo Mourão, 2014.

RANASINGHE, P. et al. Medicinal properties of true cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*): a systematic review. BMC complementary and alternative medicine, v. 13, p. 1-10, 2013.

RAO, P. V.; GAN, S. H. Cinnamon: a multifaceted medicinal plant. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, v. 2014, 2014

REINOLD, M. R. O mercado cervejeiro brasileiro atual potencial de crescimento. Revista Industrial de Bebidas, ano 10, n. 57, 2011.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A Química da Cerveja. Química Nova Escola, v. 37, n. 2, p. 98-105, 2015.

SÁ, I. S. D. Produção de cervejas bioativas com baixo teor alcoólico: caracterização físico-química e sensorial e atividade in vitro, in vivo e ex vivo em *drosophila melanogaster*. Tese (Doutorado), UNESP, São José do Rio Preto, 2023.

SACHS, L. G. Cerveja. Fundação Faculdades Luiz Meneghel, Bandeirantes, PR, 2001.

SAERENS, S. M. G. et al. Monitoring the influence of high-gravity brewing and fermentation temperature on flavour formation by analysis of gene expression levels in brewing yeast. Applied microbiology and biotechnology, v. 80, p. 1039-1051, 2008.

SALIMBENI, J. F. et al. Caracterização da água e sua influência sensorial para produção de cerveja artesanal. TCC (Graduação), Universidade São Francisco, Campinas, 2016.

SANGAL, A. Role of cinnamon as beneficial antidiabetic food adjunct: a review. Advances in Applied Science Research, v. 2, n. 4, p. 440-450, 2011.

SANTHIRAVEL, S. et al. The Impact of Plant Phytochemicals on the Gut Microbiota of Humans for a Balanced Life. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, n. 15, p. 8124, 2022.

SCHAAB, E. H. Estudos oxidativos biomiméticos com os produtos naturais piperina e pipartina. Dissertação (Mestrado), USP, Ribeirão Preto, 61 p, 2008.

SHOBA, G. et al. Influence of piperine on the pharmacokinetics of curcumin in animals and human volunteers. *Planta medica*, v. 64, n. 04, p. 353-356, 1998.

SCHUINA, G. L. Utilização de plantas amargas em substituição ao lúpulo na produção de cerveja artesanal tipo *American Lager*. Tese (Doutorado), UNESP, São José do Rio Preto, 2018.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Phenolics in Food and Nutraceuticals. Boca Raton: CRC Press, p. 1-403, 2003.

SILVA, C. H. P. M. Microbiologia da cerveja: do básico ao avançado, um guia definitivo. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2019.

SINDCERV. O Setor em Números. Disponível em:
<<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

SPEDDING, G. Alcohol and its measurement. In: *Brewing materials and processes*. Academic Press, p. 123-149, 2016.

SIRRINE, J. R. et al. Sustainable hop production in the Great Lakes region. Publisher: Michigan State University Extension, 2010.

STEENSELS, J. et al. Brettanomyces yeasts - From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. *International Journal of Food Microbiology*, v. 206, p. 24-38, 2015.

STEWART, G. G. et al. *Handbook of brewing*. CRC Press, 2017.

SURESH, D. et al. Effect of heat processing of spices on the concentrations of their bioactive principles: Turmeric (*Curcuma longa*), red pepper (*Capsicum annuum*) and black pepper (*Piper nigrum*). *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 20, n. 3-4, p. 346–351, 2007.

SZALLASI, A. Piperine: researches discover new flavor in an ancient spice. Trends in Pharmacological Sciences, v. 26, n. 9, p. 437-439, 2005.

TAFULO, P. A. R. et al. Control and comparison of the antioxidant capacity of beers. Food Research International, v. 43, p. 1702–1709, 2010.

TAN, Y., SIEBERT, K. J. Quantitative structure - activity relationship modeling of alcohol, ester, aldehyde, and ketone flavor thresholds in beer from molecular features. Journal of agricultural and food chemistry, v. 52, n. 10, p. 3057-3064, 2004.

TECHAKRIENGKRAIL, I.; et al. Relationships of sensory bitterness in lager beers to iso- α -acid contents. Journal of the Institut of Brewing, v. 110, n. 1, p. 51-56, 2004.

TOZETTO, L. M. et al. Production and physicochemical characterization of craft beer with ginger (*Zingiber officinale*). Food Science and Technology, v. 39, n. 4, 2019.

VALENTIM, S. S. et al. Elaboração e avaliação da estabilidade de cerveja artesanal utilizando o umbu-cajá (*Spondias bahiensis*) e canela na maturação. Diversitas Journal, v. 6, n. 1, p. 114-136, 2021.

VANGALAPATI, M et al. A review on pharmacological activities and clinical effects of cinnamon species. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, v. 3, n. 1, p. 653–663, 2012.

VENTURINI FILHO, W. G.; CEREDA, M. P. Biotecnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

VENTURINI FILHO, W. G. Bebidas Alcoólicas: ciência e tecnologia. São Paulo: Edgard Blucher, 461 p, 2010.

VELJOVIC, M. et al. The fermentation kinetics and physicochemical properties of special beer with addition of prokupac grape variety. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, v. 21, n. 3, p. 391-397, 2015.

VIEIRA, D. D. et al. Desenvolvimento e caracterização de cerveja artesanal estilo Ale Blond com adição de pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius Raddi*). TCC (Graduação), IF SUDESTE MG, Rio Pomba, 2016.

VIEIRA, P. M. Avaliação da composição química, dos compostos bioativos e da atividade antioxidante em seis espécies de flores comestíveis. Tese (Doutorado), UNESP, Araraquara, 102 p, 2013.

VILARINHO, A. A. Produção brasileira de cevada - o quão longe estamos da autossuficiência? Disponível em: <https://guiadacervejabr.com/balcao-aloisio-producao-brasileira-cevada-o-quao-longe-autossuficiencia>. Acesso em: 31 jul. 2023.

WEI, Y. H. et al. Oxidative stress in human aging and mitochondrial disease- consequences of defective mitochondrial respiration and impaired antioxidant enzyme system. Chinese Journal of Physiology, v. 44, n. 1, p. 1-12, 2001.

WEILLER, J.; BEZERRA, A. S. Elaboração e análise da atividade antioxidante de cervejas artesanais incorporadas de especiarias Revista de educação, ciência e tecnologia do IFAM, v. 31, n. 4, p. 15–30, 2017.

WILLAERT, R. The beer brewing process: Wort production and beer. Handbook of food products manufacturing, v. 2, p. 443, 2007.

YIN, H. et al. 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, v. 79, n. 4, p. 370-377, 2021.

YU, T et al. GC-MS analysis of volatiles in cinnamon essential oil extracted by different methods. Grasas Y aceites, v. 71, n. 3, p. e372-e372, 2020.

ZACHARIAH, T. J. et al. Correlation of metabolites in the leaf and berries of selected black pepper varities. Scientia Horticulturae, v. 123, p. 418-422, 2010.

ZAPATA, P. J. et al. Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. LWT, v. 103, p. 139-146, 2019.

ZWAVING, J. H.; BOS, R. Analysis of the essential oils of five Curcuma species. Flavour and Fragrance Journal, v. 7, n. 1, p. 19-22, 1992.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre Esclarecido da Análise Sensorial

Você está sendo convidado para participar da pesquisa “Desenvolvimento e caracterização de cerveja com adição de especiarias”. Antes de decidir se participará, é importante que você entenda porque o estudo está sendo feito e o que ele envolverá. Reserve um tempo para ler cuidadosamente as informações a seguir e faça perguntas se algo não estiver claro ou se quiser mais informações. Não tenha pressa de decidir se deseja ou não participar desta pesquisa e a sua participação não é obrigatória. O projeto consiste em avaliar 04 amostras de cerveja com adição de especiarias e atribuir notas para atributos de aparência, aroma, sabor, amargor, espuma e aceitação global utilizando uma escala de 9 pontos. Para tal será ofertado gratuitamente amostras das cervejas para você beber e poder dar o valor acima descrito. Você deve ser maior de 18 anos, independente de credo, etnia, gênero e escolaridade. Se decidir participar do projeto será de forma voluntária e você ainda tem a liberdade de se retirar das atividades a qualquer momento, sem qualquer justificativa. Isso não afetará em nada sua participação em demais atividades e não causará nenhum prejuízo. Os riscos referentes a sua participação na pesquisa podem ser: invasão de privacidade; responder a questões sensíveis, tomar o tempo do sujeito ao responder ao questionário/entrevista, riscos físicos a menos que você seja portador de alguma intolerância/alergia aos produtos da cerveja (malte, lúpulo, etanol e especiarias). Caso esta resposta seja positiva, você não poderá participar da pesquisa, pois garantimos que o estudo será suspenso imediatamente ao perceber algum risco ou danos à saúde. Serão tomadas as seguintes providências para evitar/minimizar os riscos mencionados: garantimos o acesso aos resultados individuais e coletivos, que se ficará atento aos sinais verbais e não verbais que demonstrem quaisquer desconfortos, local reservado e liberdade para não responder questões constrangedoras; esclarecemos que os pesquisadores são habilitados ao método de coleta dos dados. Asseguramos a confidencialidade e a privacidade, a proteção da imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo de sua pessoa e/ou comunidade, inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou econômico-financeiro; do sujeito participante da pesquisa, conseqüente à mesma, não previsto no termo de consentimento, além de poder desistir de participar da pesquisa assim que o/a mesmo/a verbalize este interesse. As informações obtidas por meio desta pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre a sua participação. Como benefício de sua participação poderemos identificar se as cervejas com especiarias poderão ser oferecidas para todos. Os dados serão divulgados de forma a não possibilitar a sua identificação em apresentações ou publicações com fins científicos ou educativos. Você tem direito de conhecer e acompanhar os resultados dessa pesquisa. Participar desta pesquisa não implicará em nenhum custo para você, e, como voluntário, você também não receberá qualquer valor em dinheiro como compensação pela participação. Você receberá uma cópia por e-mail contendo as respostas da sua avaliação.

Para maiores esclarecimentos ou para retirar quaisquer dúvidas sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal do Rio de Janeiro, Rua Buenos Aires, 256, Cobertura, Centro, Rio de Janeiro- telefone 3293-6034 de segunda a sexta-feira, das 9 às 12 horas, ou por meio do e-mail: cep@ifrrj.edu.br. O Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão que controla as questões éticas das pesquisas na instituição e tem como uma das principais funções proteger os participantes de qualquer problema.

Como estou de acordo com os termos para participação, assino o presente documento.

Rio de Janeiro, ____ de outubro de 2023

APÊNDICE B – Ficha de Avaliação da Análise Sensorial

Por favor, antes de iniciar a avaliação sensorial das cervejas, responda às seguintes perguntas sobre você:

Faixa Etária:	Sexo:	Escolaridade:
() 18 a 25 anos	() Masculino	() Fundamental
() 26 a 35 anos	() Feminino	() Médio
() 36 a 50 anos		() Superior
() 51 ou mais		() Pós-graduação

Com que frequência aproximada você consome cerveja ?

- () Todo dia
 () De 2 a 3 vezes por semana
 () 1 vez por semana
 () De 2 a 3 vezes por mês
 () 1 vez por mês
 () Nunca

Que tipo de cerveja você costuma beber ?

- () Apenas as tradicionais
 () As tradicionais e as artesanais
 () Apenas as artesanais

Você está recebendo 4 amostras de cerveja. Avalie cada amostra utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou de cada uma delas quanto aos parâmetros aparência, aroma, sabor, espuma e impressão global.

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1) Desgostei muitíssimo | 5) Indiferente |
| 2) Desgostei muito | 6) Gostei ligeiramente |
| 3) Desgostei moderadamente | 7) Gostei moderadamente |
| 4) Desgostei ligeiramente | 8) Gostei muito |
| | 9) Gostei muitíssimo |

Amostra	Aparência	Aroma	Sabor	Amargor	Espuma	Impressão Global

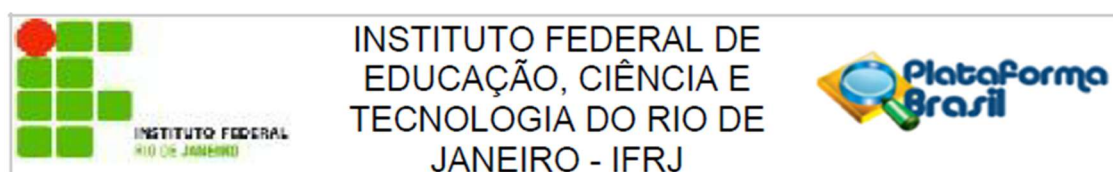
Agora, avalie cada amostra utilizando a escala abaixo para apresentar sua intenção de compra.

- 1) Certamente não compraria
 2) Possivelmente não compraria
 3) Não sei se compraria
 4) Possivelmente compraria
 5) Certamente compraria

Amostra	Intenção de compra

ANEXO

ANEXO A - Parecer com Aprovação da Análise Sensorial pelo Comitê de Ética

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CERVEJA COM ADIÇÃO DE CÚRCUMA, PIMENTA DO REINO E CANELA

Pesquisador: Luciana Cardoso Nogueira

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 73512122.0.0000.5268

Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE

Patrocinador Principal: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.265.810

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 28 de Agosto de 2023

Assinado por:
Angela M Bittencourt
(Coordenador(a))