



Faculdade de Ciências
Departamento de Química

Licenciatura em Química Industrial

Trabalho de Licenciatura

**Avaliação de parâmetros físico-químicos de
qualidade na produção de cerveja Castle Lite**

Autor:

Constantino da Conceição Alberto

Maputo, Março 2024



Faculdade de Ciências
Departamento de Química

Licenciatura em Química Industrial

Trabalho de Licenciatura

**Avaliação de parâmetros físico-químicos de
qualidade na produção de cerveja Castle Lite**

Autor:

Constantino da Conceição Alberto

Supervisor:

Prof. Doutor Hermínio Muiambo

Maputo, Março 2024

Dedicatória

À minha mãe, Balbina Bernardo.

AGRADECIMENTOS

À divina orientação de Deus. À minha família, cujo apoio inabalável tem sido meu alicerce.

Ao meu supervisor Prof. Doutor Hermínio Muiambo, palavras são-me escassas para expressar a minha gratidão pela sua inestimável orientação e apoio. Agradeço a todos docentes da Universidade Eduardo Mondlane que contribuíram significativamente para a minha formação.

À turma de Química Industrial de 2019, que me ensinou que a verdadeira irmandade vai além dos laços sanguíneos. Um agradecimento especial à minha namorada Nanília Alves e ao meu amigo Artur Bila que deixaram uma marca indelével na minha jornada.

DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DE HONRA

Declaro que este trabalho de fim do curso é resultado da minha investigação e nunca foi apresentado na sua essência em nenhuma instituição para quaisquer fins, estando indicados no texto e nas referências bibliográficas todas as fontes por mim consultadas.

(Constantino da Conceição Alberto)

15/03/2024

The road not taken

Two roads diverged in a yellow wood,
 And sorry I could not travel both
 And be one traveller, long I stood
And looked down one as far as I could
 To where it bent in the undergrowth;
 Then took the other, as just as fair,
 And having perhaps the better claim,
Because it was grassy and wanted wear;
 Though as for that the passing there
Had worn them really about the same,
 And both that morning equally lay
In leaves no step had trodden black.
 Oh, I kept the first for another day,
Yet knowing how way leads on to way,
I doubted if I should ever come back.
 I shall be telling this with a sigh
 Somewhere ages and ages hence:
Two ways diverged in a wood, and I
 I took the one less travelled by,
And that has made all the difference.

Robert Frost

RESUMO

A avaliação da qualidade dos produtos alimentares, especialmente nas indústrias cervejeiras, desempenha um papel fundamental na garantia da segurança alimentar e na satisfação do consumidor. Os estudos de avaliação de qualidade fornecem uma visão aprofundada da composição e características dos produtos cervejeiros, permitindo às indústrias identificar e corrigir potenciais falhas de processo que possam comprometer a qualidade do produto final.

O fundamento do presente trabalho foi avaliar os parâmetros físico-químicos de qualidade na produção da cerveja Castle Lite pela Cervejas de Moçambique. Aplicou-se técnicas recomendadas pela *EBC (European Brewery Convention)* e *ASBC (American Society of Brewing Chemists)* incluindo espectrofotometria, potenciometria, titulometria visual e alcoolometria (análise com *DMA 4500M*).

Os parâmetros avaliados foram comparados com as regulamentações vigentes, que incluem as prescrições da *FAO/OMS (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)*, a lei brasileira Nº 8.918 de 14 de Julho de 1994 e o padrão *FSSC 22000*. Os resultados demonstraram que a Castle Lite está em conformidade com todas estas normas. Para o mosto, os valores obtidos para a cor, *IBU*, acidez (pH), cálcio e sódio foram, respectivamente: 13.14 ± 1.55 *EBC*, 40.02 ± 2.01 *mg/L*, 5.14 ± 0.01 , 88.80 ± 2.95 *mg/L* e 42.74 ± 1.57 *mg/L*. Para a cerveja embalada, verificou-se a cor, *IBU*, pH, cálcio, sódio, extracto primitivo, energia e etanol tendo-se obtido os seguintes dados respectivamente: 8.29 ± 0.75 *EBC*, 13.91 ± 0.59 *mg/L*, 4.31 ± 0.02 , 80.37 ± 2.67 *mg/L*, 41.55 ± 1.62 *mg/L*, $8.37 \pm 0.24\%$, 123.55 ± 3.78 *kJ/100mL* e 4.03 ± 0.10 %V/V.

Em relação aos parâmetros analisados, os resultados confirmam as declarações do fabricante: a Castle Lite é uma cerveja *lager*, leve e *light* com baixo teor calórico, além de conter uma concentração de carboidratos não fermentados dentro dos padrões esperados.

Palavras-Chave: Certificação de Qualidade, Cerveja Castle Lite, Parâmetros Físico-Químicos, Conformidade Regulamentar.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	II
DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DE HONRA	III
RESUMO	V
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
SIGLAS E ABREVIATURAS	X
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Geral	2
1.1.2. Específicos.....	2
1.2. Justificativa.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Classes das cervejas	5
2.1.1. Cervejas Ales	5
2.1.2. Cervejas Lager	5
2.1.3. Cervejas Lambics	6
2.2. Matéria-prima.....	6
2.2.1. Água.....	6
2.2.2. Malte	7
2.2.3. Maltagem	9
2.2.4. Ingredientes adjuntos do malte	11
2.2.5. Levedura	12
2.2.6. Lúpulo.....	13
2.3. Processo produtivo	17
2.3.1. Moagem	17
2.3.2. Mosturação	18

2.3.3.	Filtração	22
2.3.4.	Fervura.....	22
2.3.5.	Arrefecimento e <i>whirpool</i>	24
2.3.6.	Fermentação.....	25
2.3.7.	Maturação	28
2.3.8.	Filtração	29
2.3.9.	Carbonatação	30
2.3.10.	Pasteurização	30
2.3.11.	Enchimento.....	31
2.3.12.	Controle de qualidade.....	32
3.	PARTE EXPERIMENTAL.....	34
3.1.	Determinação de <i>IBU</i>	35
3.2.	Determinação de coloração	35
3.3.	Determinação do teor de iões de cálcio	36
3.4.	Determinação do teor de iões de sódio	37
3.5.	Determinação de pH	37
3.6.	Determinação do teor de álcool etílico, extracto primitivo e energia	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1.	Unidade Internacional de amargor (<i>IBU</i>)	42
4.2.	Coloração	43
4.3.	Teor de iões de cálcio, sódio e pH	44
4.4.	Extracto primitivo, energia e etanol.....	45
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
	ANEXOS.....	a

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Minerais encontrados na água e sua influência na cerveja	7
Tabela 2: Tipos do malte, classificação e aplicações.....	11
Tabela 3: Composição química do cultivar amargo <i>Herkules</i>	14
Tabela 4: Composição química do cultivar <i>Hallertauer Tradition</i>	14
Tabela 5: Composição química do cultivar <i>Nugget</i>	15
Tabela 6: Lista dos aditivos aprovados pela FAO, OMS e INS para cervejas e produtos à base do malte.....	33
Tabela 7: Equipamentos, materiais e reagentes	34
Tabela 8: Parâmetros físico-químicos referentes às amostras dos fabricos.....	38
Tabela 9: Resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados no mosto.....	39
Tabela 10: Parâmetros físico-químicos referentes ao produto acabado.....	40
Tabela 11: Resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados na cerveja	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do grão da cevada	8
Figura 2: Estrutura da niacina encontrada no grão da cevada	8
Figura 3: Estrutura do ácido fítico encontrada no grão da cevada.....	8
Figura 4: Estrutura do ácido giberélico.....	10
Figura 5: Segmento da estrutura do amido	10
Figura 6: Demonstração da hidrólise enzimática de uma cadeia de amiláceo até à formação de um carboidrato simples	12
Figura 7: Estrutura química da lupulona.....	16
Figura 8: Estrutura química dos α - ácidos e a conversão via isomerização para iso- α - ácidos	16
Figura 9: Moinho de martelo (a), rolo (b), e disco (c)	18
Figura 10: Curva de mosturação por infusão múltipla.....	19
Figura 11: Curva de mosturação por decocção múltipla	19
Figura 12: Gelatinização e sacarificação do amido durante a mosturação	20
Figura 13: Temperatura de gelatinização de alguns amidos em relação à temperatura de mosturação	21
Figura 14: Acção de α -amilase e β -amilase sobre a cadeia da amilopectina (constituente do amido)	22
Figura 15: Isomerização das humolonas.....	24
Figura 16: Cinética da fermentação da cerveja.....	27
Figura 17: Alterações no nível de álcoois superiores ao longo da fermentação da cerveja <i>ale</i> (a) e <i>lager</i> (b).....	28
Figura 18: Fluxograma do processo de produção de cerveja.....	32
Figura 19: Comparação das médias de IBU nos fabricos pelo teste de Tukey.....	39
Figura 20: Comparação das médias de IBU na cerveja pelo teste de Tukey.....	41
Figura 21: Comparação das médias de coloração na cerveja pelo teste de Tukey.	41
Figura 22: Comparação dos valores experimentais de mosto e cerveja.	46
Figura 23: Comparação dos resultados experimentais com o estabelecido pelas legislações alimentares.	46

SIGLAS E ABREVIATURAS

ASBC	Sociedade Americana de Químicos Cervejeiros (<i>American Society of Brewing Chemists</i>)
ANOVA	Análise da Variância
ABInBev	<i>Anheuser Busch-inBev</i>
CDM	Cervejas de Moçambique
CIP	Limpeza no local (<i>Cleaning In Place</i>)
DMS	Dimetil Sulfito
EBC	Convenção Cervejeira Europeia (<i>European Brewing Convention</i>)
EDTA	Etilenodiaminotetracetato dissódico (<i>disodium ethylenediaminetetracetate</i>)
EFSA	Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (<i>European Food Safety Authority</i>)
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>)
FSSC (SGS)	Certificação do Sistema de Segurança Alimentar (<i>Food Safety System Certification</i>) – Sociedade Geral de Vigilância (<i>Société Générale de Surveillance</i>)
GFSI (CGF)	Iniciativa Global de Segurança Alimentar (<i>Global Food Safety Initiative</i>) – Fórum de Bens de Consumo (<i>Consumer Goods Forum</i>)
HPLC	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (<i>High Performance Liquid Chromatography</i>)
IBU	Unidade Internacional de Amargor (<i>International Bitterness Unit</i>)
IDA	Ingestão Diária Aceitável;
INS	Sistema Internacional de Numeração (<i>International Numbering System</i>)
ISA	Força Iônica de Amoníaco (<i>Ammonia Ionic Strength</i>)
OMS	Organização Mundial da Saúde
rpm	Rotações por minuto
SRM	Método de referência padrão (<i>Standard Reference Method</i>)
SABMiller	<i>South African Brewery</i>

1. INTRODUÇÃO

A segurança dos alimentos é uma componente importante da segurança alimentar e tem um papel fundamental na redução de doenças. Actualmente a OMS estima que em cada dez pessoas, uma adoece no mundo após consumir alimentos contaminados por bactérias, parasitas, contaminantes químicos e biotoxinas, e que 420 000 pessoas morrem anualmente, sendo 30% crianças menores de cinco anos. A relevância da certificação de qualidade dos produtos alimentares tem crescido bastante à medida que se regista um aumento de casos de fraude alimentar (OMS, 2021).

Os principais impulsores de práticas contra a segurança dos alimentos são principalmente ganhos económicos e as exigências do mercado actual, no entanto, para o consumidor, os riscos associados a esta prática, envolvem a saúde (a ocultação de informações que resultem em alérgenos não declarados, declarações falsas ou enganosas feitas sobre o produto, são alguns exemplos que se tem registado com frequência na actualidade) (Oliveira e Terra, 2021; GFSI, 2017).

Fraude alimentar é um termo colectivo abrangendo a substituição, adição, adulteração ou falsificação intencional de alimentos, ingredientes de alimentos, ou embalagem, rotulagem, informação sobre o produto, ou declarações falsas e enganosas feitas sobre um produto para ganhos económicos que pode afectar a saúde do consumidor (FSSC 22000, 2019).

O controle sobre a mitigação de fraudes alimentares é um tema recorrente entre as empresas do ramo, principalmente no âmbito dos seus sistemas de Gestão de Segurança dos Alimentos. Segundo Oliveira e Terra (2021), no período de Janeiro a Dezembro de 2020, a EFSA notificou 229 ocorrências de alertas de fraude. Quando comparado com igual período de 2019, nota-se um incremento em 44% de fraudes em alimentos e 558% de alertas de fraude publicados, sendo o principal tipo de fraude associado aos alimentos a falsificação e mercado negro com aumento em 342%, seguida pela diluição e substituição e alegação fraudulenta no rótulo. Os principais grupos de alimentos envolvidos foram os lacticínios, as bebidas alcoólicas, peixes e frutos do mar.

A Cervejas de Moçambique conta a história de cerveja no país. Em 1950 foi fundada a fábrica MAC-MAHON, tendo sido parte da SABMiller entre 1995 e 2015 (CDM, 2015). Desde Outubro de 2016 tornou-se parte da AB-InBev (AB-InBev, 2016). A CDM produz diferentes marcas de cerveja. Das marcas nacionais, destaca-se a *mainstream* produzida desde 1965, 2M. Outras marcas incluem a Dourada, Impala, Manica, Corona, Flying Fish, Budweiser, Stella

Artois, Laurentina Preta (a única cerveja preta *lager* produzida pela companhia), Laurentina Premium e a Castle Lite introduzida em 2012 (CDM, 2021).

A Castle Lite é uma marca que foi criada em 1994 na África do Sul. Caracteriza-se por ser uma cerveja leve, com baixo teor calórico e carboidratos. É actualmente consumida em mais de 10 países africanos incluindo: África do Sul, Tanzânia, Zâmbia, Lesoto, Moçambique, ESwatini, Botswana, Uganda, Namíbia, Zimbábue e Nigéria. É a maior cerveja premium do continente africano (Irwin, 2014).

Para garantir uma cerveja segura, o controle de qualidade no processo de produção segue os padrões de análise estabelecidos pela *European Brewery Convention* e *American Society of Brewing Chemists*. A *EBC* e *ASBC* são entidades cujo objectivo é desenvolver métodos de análise que visam melhorar e dar uniformidade à indústria cervejeira a nível técnico e garantir consistência dos resultados e segurança ao produto final à base do malte e seus ingredientes (Vieira, 2015).

Portanto, o conhecimento sobre as características físico-químicas durante a fabricação da cerveja auxilia na busca de estratégias para o melhoramento da produtividade e qualidade (Andrade, Lima e Meirelles, 2016).

1.1. Objectivos

1.1.1. Geral

- ✓ Avaliar os parâmetros físico-químicos de qualidade na produção da cerveja Castle Lite.

1.1.2. Específicos

- ✓ Determinar o amargor, cor, pH, metais, extracto primitivo, energia e teor alcoólico no mosto e na cerveja.
- ✓ Verificar a compatibilidade dos resultados com as legislações alimentares (Lei brasileira Nº 8.918 de 14 de Julho de 1994, *FAO/OMS* e *FSSC 22000*).

1.2. Justificativa

A avaliação da qualidade dos produtos alimentares, especialmente nas indústrias cervejeiras, desempenha um papel fundamental na garantia da segurança alimentar e na satisfação do consumidor. Os estudos de avaliação de qualidade fornecem uma visão aprofundada da composição e características dos produtos cervejeiros, permitindo às indústrias identificar e corrigir potenciais falhas de processo que possam comprometer a qualidade do produto final.

Além disso, tais estudos são essenciais para assegurar que as cervejas atendam aos padrões regulamentares e de segurança alimentar estabelecidos pelos órgãos governamentais, promovendo a confiança dos consumidores e protegendo a reputação das marcas.

De modo a atender as necessidades do processo, a indústria cervejeira emprega substâncias químicas para a limpeza dos tanques e condutas durante os sistemas de limpeza *cleaning-in-place* (CIP). O CIP é uma actividade que envolve o uso de ácidos e bases fortes a altas concentrações. Portanto, o controle de parâmetros como acidez e alcalinidade afigura-se vital para garantir a inofensividade do produto.

Além de garantir a conformidade regulamentar, os estudos de avaliação de qualidade também desempenham um papel fundamental na melhoria contínua dos processos de fabricação de cerveja. Ao identificar áreas de oportunidade para optimização e aprimoramento, as indústrias podem aprimorar a consistência, aroma e sabor das suas cervejas, proporcionando experiências sensoriais superiores aos consumidores. Além disso, investir em estudos de avaliação de qualidade pode contribuir para a diferenciação da marca em um mercado cada vez mais competitivo, onde os consumidores valorizam a qualidade e autenticidade dos produtos que consomem. Portanto, a condução de estudos de avaliação de qualidade nas indústrias cervejeiras não é apenas uma necessidade, mas uma estratégia essencial para garantir a excelência dos produtos e a sustentabilidade dos negócios a longo prazo.

Deste modo, para certificar a segurança alimentar e assegurar os atributos característicos da cerveja, os métodos analíticos de controle do processo devem ser pautados de acordo com procedimentos cientificamente aprovados para um melhor desempenho industrial. Diante do exposto, o presente trabalho tem como propósito avaliar os parâmetros físico-químicos de qualidade na produção da cerveja Castle Lite.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água, o malte, o lúpulo e as leveduras são os quatro principais ingredientes utilizados no fabrico da cerveja. O malte é a fonte de carboidratos que, pela acção das leveduras, são convertidos em álcool etílico e dióxido de carbono (Gasiński *et al.*, 2022).

A cerveja é uma bebida de baixo teor alcoólico, situando-se entre 2 e 6%. Possui ainda dióxido de carbono entre 0.35% e 0.5%, 2 e 6% de extracto residual, e 90 e 95% de água (Afonso e Rosa, 2014).

A cerveja é uma bebida carbonatada de baixo teor alcoólico, produzida através do processo de fermentação do malte de cevada por leveduras contendo lúpulo e água, podendo ainda utilizar-se malte de outras matérias-primas, como arroz, trigo ou milho (Akpoghelie *et al.*, 2022). O lúpulo atribui à cerveja um aroma agradável, um sabor característico, e melhora a sua conservação (Nunes, 2021).

Resultados de estudos *in vitro* e *in vivo* sugerem que o consumo de cerveja é menos prejudicial para o fígado do que o consumo de bebidas espirituosas. Também tem sido sugerido que compostos secundários de plantas derivadas do lúpulo, como xanthohumol (iso- α -ácido), podem ter efeitos benéficos contra o desenvolvimento de doenças hepáticas de várias etiologias (Hege *et al.*, 2018).

A cerveja é uma das bebidas mais populares do mundo, detém uma história muito longa, mesmo além do registo da civilização (Jesus, 2022). É tida como alimento familiar e considerada um elemento de união entre as pessoas possibilitando momentos de prazer e diversão. Estudos médicos sustentam que o consumo moderado da bebida traz efeitos positivos à saúde e, durante muito tempo, foi usada na Europa como alternativa para prevenção de doenças, como no caso da peste negra, durante a segunda metade do século XIV (Spies, 2018).

A evolução da sociedade humana esteve directamente relacionada ao desenvolvimento da cultura cervejeira e, principalmente, como instrumento de dinamização do desenvolvimento tecnológico (Liu, Wang e Liu, 2017). Assim, ela contribuiu na criação das primeiras microempresas da história como também na crescente geração de emprego (Spies, 2018).

As cervejas são ricas em vitaminas, sobretudo as do complexo B. A vitamina B₁ auxilia no funcionamento dos músculos, nervos e do cérebro, a B₂ colabora para a manutenção dos tecidos, a B₅ actua no metabolismo dos carboidratos e gorduras. Contém também minerais, como cálcio (Ca) e fósforo (P), essenciais para a composição dos ossos; e o potássio (K), junto

com o cálcio, asseguram, entre outros benefícios, o bom funcionamento do coração (Vieira, 2015).

Segundo Lamb *et al.* (2011), doenças como osteoporose são melhoradas pelo consumo de nutrientes contendo minerais. O cálcio e o fósforo são os principais componentes que aumentam a densidade mineral óssea e diminuem as taxas de fractura.

Os principais nutrientes da cerveja são carboidratos, proteínas e minerais que, juntamente com o álcool, contribuem para o balanço energético total. Nas cervejas *lagers*, 65% do saldo energético é contribuído do álcool e 35% dos carboidratos. Em cervejas sem álcool, a contribuição energética é predominantemente dos carboidratos (Olšovská *et al.*, 2019).

2.1. Classes das cervejas

As características da água, os diferentes tipos de malte, lúpulo e levedura permitem uma combinação que resulte em uma vasta gama de cervejas. Desta forma, torna-se difícil segregar pormenorizadamente os diferentes tipos de cerveja. De forma mais ampla, torna-se mais fácil discriminar os estilos de acordo com o tipo de fermentação, podendo-se citar três grandes classes de cerveja: *Ales*, *Lagers* e *Lambics*. O ponto determinante para a distinção destas três classes é o processo de fermentação e a cepa da levedura específica para cada uma (Spies, 2018).

2.1.1. Cervejas Ales

As Cervejas *Ales* são assim classificadas pela fermentação da levedura no topo do volume do fermentador, com temperaturas situando-se entre 15 e 25°C. As leveduras empregues nesta classe são da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, dando origem a cervejas com aromas frutados e condimentados. Nesta classe destacam-se estilos como *Pale Ale*, *India Pale Ale*, *Stout*, *Saison* entre outras (Spies, 2018).

2.1.2. Cervejas Lager

As Cervejas Lager são as de fermentação de fundo, onde a levedura actua no fundo do volume do fermentador. Empregam-se leveduras da espécie *Saccharomyces pastorianus*, com temperaturas ideais entre 9 e 15°C. São cervejas de aroma neutro e limpas, além do visual mais clarificado, destacam-se estilos como Pilsner, American Lager, Budweiser, Castle Lite e outros. Embora haja diversos tipos e marcas de cervejas no mercado internacional, as classes *American Lager* e *Premium Lager* são líderes mundiais, caracterizando-se por apresentar teores alcoólicos moderados, baixo amargor e pouco apelo sensorial (Spies, 2018).

2.1.3. Cervejas Lambics

Cervejas Lambics são especificamente produzidas pela técnica mais antiga de fermentação conhecida, efectuada por leveduras selvagens do próprio ambiente. A composição destas leveduras, sendo variada, produzem, assim, uma grande variedade de compostos aromáticos e deixam presente na cerveja grande quantidade de carboidratos não fermentados. O produto final caracteriza-se por sabores levemente ácidos e aromas altamente frutados (Lilandoma, 2012).

2.2. Matéria-prima

A escolha da matéria-prima para a fabricação da cerveja é um factor chave na determinação da qualidade nutricional do produto. Em geral, a cerveja possui alto valor nutritivo e é rapidamente assimilada pelo organismo. Os seus componentes principais são vitaminas, minerais, carboidratos e proteínas (Akpoghelie, Edo e Akayere, 2022).

2.2.1. Água

A água utilizada numa indústria de cerveja é dividida em duas classes. A água cervejeira é usada durante o processamento do malte para as lavagens, transferência de produtos em elaboração, lavagem de garrafas, latas e barris. E a água de serviço é usada em equipamentos que não entram em contacto directo com o produto (Afonso e Rosa, 2014).

Durante o processo de produção da cerveja, a água é a matéria-prima em maior quantidade, representando cerca de 90 a 95% (Spies, 2018).

A água cervejeira, segundo Afonso e Rosa (2014), deve respeitar os seguintes parâmetros para que seja útil na produção:

- ✓ Livre de turbidez: Resultado de partículas em suspensão, que podem ser orgânicas ou inorgânicas (argila, microorganismos);
- ✓ O pH deve estar em torno de 5 para garantir a regulação das actividades enzimáticas durante a fermentação, garantir uma boa solubilização de componentes adstringentes, variação da cor e coagulação dos componentes protéicos do mosto.
- ✓ Livre de microorganismos: é necessário um plano de higienização e controle criterioso na unidade industrial que garantem à água todas as características desejadas: límpida, inodora e insípida.

Embora seja possível ajustar a composição da água de forma desejada com os conhecimentos físico-químicos, a qualidade e a quantidade de água é um factor levado em consideração por

grandes cervejeiras, pois o custo do tratamento deste líquido impacta significativamente no valor comercial da cerveja. A água com elevado teor de minerais pode afectar directamente o sabor e aroma da bebida (Schuina, 2018).

A Tabela 1 apresenta os principais minerais encontrados na água usada na produção da cerveja e suas contribuições.

Tabela 1: Minerais encontrados na água e sua influência na cerveja Fonte: (Schuina, 2018; Afonso e Rosa, 2014).

Minerais	Características
Ca^{2+}	Auxilia na sedimentação do trub e da levedura. Protege a desactivação térmica da amilase durante a sacarificação (hidrólise) do amido $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ contido no malte; favorece a coagulação protéica durante a fervura do mosto; precipita o oxalato (como CaC_2O_4), evitando <i>a posteriori</i> turvação da bebida; estimula o metabolismo e também a floculação da levedura.
Mg^{2+}	Necessário a algumas enzimas, porém, em excesso, níveis acima de 30 mg/L podem conferir um amargor desagradável para a cerveja.
Na^+	Aumenta sabor salgado em altas concentrações, mas, em concentrações moderadas, pode conferir certa doçura e melhorar o sabor.
K^+	Confere características semelhantes ao sódio.
Fe^{2+}	Pode conferir aroma metálico e causar turvação no mosto.
Zn^{2+}	Activa a síntese de proteínas, estimulando o crescimento de leveduras, activando a fermentação. Contudo, teores superiores a 0,6 mg/L têm acção negativa sobre a fermentação e a estabilidade coloidal.
HCO_3^-	Aumenta o pH e pode interferir na formação do trub e na filtração, sendo indesejável em altas concentrações.
SO_4^{2-}	Confere característica mais seca/adstringente e um amargor mais agradável. Porém, pode ser metabolizado e conferir sabor e aroma de sulfeto.
Cl^-	Os cloretos não são prejudiciais à cerveja. Conferem-lhe um bom paladar, contudo, teores acima de 100 mg/L favorecem a corrosão dos equipamentos da linha de produção.

2.2.2. Malte

O malte resulta da germinação controlada da cevada (*Hordeum vulgare L.*), cereal da família das gramíneas. É cultivada há cerca de 8 mil anos, reúne várias características que justificam a sua utilização na produção da cerveja. É rica em amido, contém enzimas, possui uma casca que confere uma protecção ao grão durante a maltagem e confere o aroma e sabor característicos do produto (Afonso e Rosa, 2014).

O grão de cevada é constituído basicamente por casca, pericarpo, endosperma, embrião e camada de aleurona conforme mostra a figura 1. A casca e o pericarpo são constituídos de celulose e têm a função de proteger o grão e regular as trocas líquidas e gasosas. Na produção da cerveja, desempenham um papel importante por formarem a camada filtrante do mosto após a mosturação (Schuina, 2018).

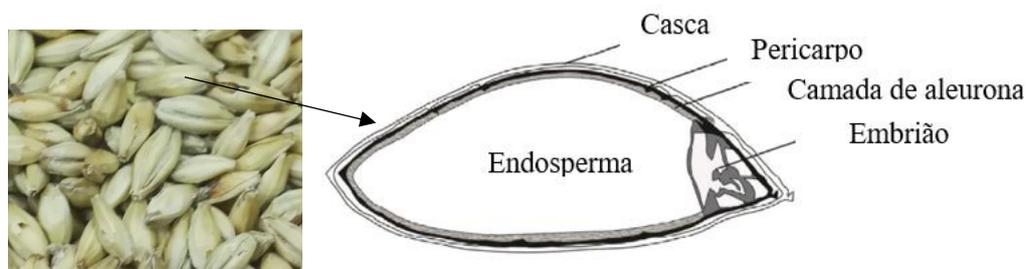


Figura 1: Estrutura do grão da cevada (Schuina, 2018).

A camada de aleurona é composta por uma camada fina de células ricas em proteínas, niacina, ácido fítico e auxilia no processo de produção e libertação das enzimas do grão. A niacina é normalmente designada de vitamina B₃ ou ácido nicotínico, é um nutriente essencial para o homem (figura 2). As plantas armazenam o fósforo sob a forma do ácido fítico; a figura 3 mostra a fórmula estrutural deste composto (Daneri-Castro, Svensson, e Roberts, 2016).

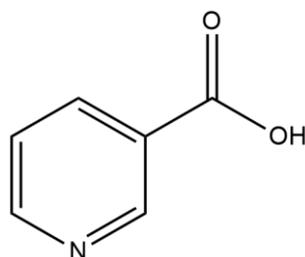


Figura 2: Estrutura da niacina encontrada no grão da cevada (Adaptado de Clayden *et al.*, 2012)

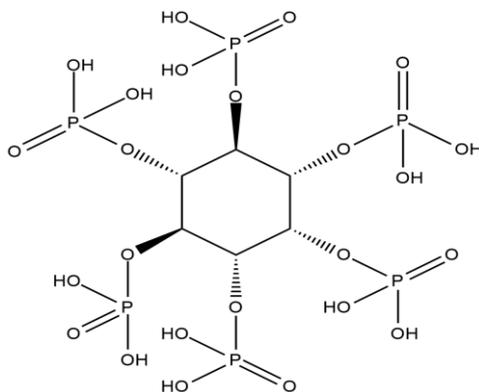


Figura 3: Estrutura do ácido fítico encontrada no grão da cevada (Adaptado de Clayden *et al.*, 2012).

Por fim, o embrião é encontrado na parte terminal do grão, rico em sais minerais e vitaminas. Esta é a parte viva do grão da cevada, ou seja, possui a capacidade de desenvolvimento quando as condições são propícias, resultando no processo fisiológico de germinação e libertação das enzimas necessárias ao desenvolvimento da planta e que serão importantes no processo de produção (Schuina, 2018).

Na forma natural, a cevada não possui as características adequadas para ser utilizada na produção da cerveja, sendo primeiro necessário transformá-la pelo processo de maltagem dos grãos. O grão de cevada deve ser de tamanho grande e relativamente uniforme, e a cor deve ser uniformemente clara, livre de manchas escuras e descoloridas. As manchas quando presentes são uma indicação de ataque por microorganismos, podendo gerar sabores e odores indesejados. Deve possuir o mínimo de grãos quebrados e sem casca para aumentar o rendimento da maltagem (Afonso e Rosa, 2014).

2.2.3. Maltagem

É onde ocorre a germinação controlada do grão cujo objectivo é propiciar a ocorrência das alterações necessárias para a produção da cerveja. As alterações que ocorrem são a produção e activação das enzimas capazes de hidrolisar as cadeias de proteínas e amido em aminoácidos e açúcares indispensáveis à fermentação (Schuina, 2018).

Segundo Afonso e Rosa (2014), o processo de maltagem é dividido em três etapas:

- ✓ Maceração – Fornecimento de água ao grão por imersão (13% de humidade inicial passa para aproximadamente 50%);
- ✓ Germinação – é o processo fisiológico da transformação do grão da cevada em uma nova planta, em que ocorre o desenvolvimento da radícula e da acrospira, além da libertação de enzimas que irão hidrolisar as proteínas e o amido presentes no grão para transformá-los em substrato necessário para a nova planta. É conduzida em caixas preparadas com o controlo rigoroso da temperatura, humidade, oxigénio e CO₂ (Oliver, 2011).

A produção de enzimas ao longo do processo de germinação é catalisada por acções de hormónios libertados do embrião. Esses embriões são constituídos de ácido giberélico (figura 4) ou substâncias similares a este ácido; Por esta razão como forma de indução da produção de enzimas pode ser a agregação destes compostos como aditivos durante a maltagem (Amri, 2016; Schuina, 2018).

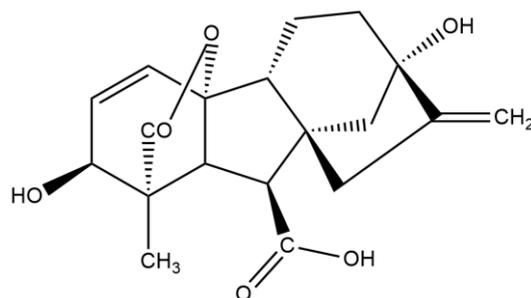


Figura 4: Estrutura do ácido giberélico (Adaptado de Clayden *et al.*, 2012).

As enzimas mais importantes formadas ao longo do processo, são as glucanases, responsáveis pela quebra da parede celular do endosperma amiláceo libertando o acesso das amilases ao amido (figura 5) presente no endosperma. As amilases (alfa e beta) são responsáveis pela transformação do amido em açúcares menores, e as proteases que propiciam a síntese de aminoácidos essenciais (Kuntz e Bamforth, 2007).

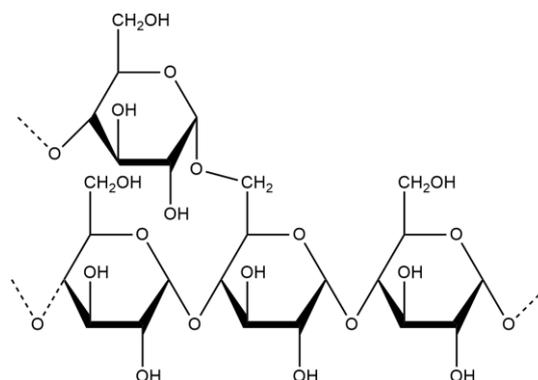


Figura 5: Segmento da estrutura do amido¹ (Adaptado de Cox e Nelson, 2014).

- ✓ Secagem – Consiste na remoção de água por meio de ar de secagem, fazendo com que as actividades fisiológicas se interrompam e permitindo a estabilidade do malte para o armazenamento. Outra vantagem desta etapa é a promoção de características desejáveis ao malte, como a cor, o aroma e o sabor (Carvalho *et al.*, 2014; Terpinc, 2016).

Do processo da maltagem resultam dois principais grupos de malte, como mostra a tabela 2. Os maltes bases são os que estão em maior proporção na formulação do mosto, servem como principais fontes de enzimas, carboidratos fermentáveis e aminoácidos. Os maltes especiais

¹ O amido é constituído por dois tipos de polímero de glicose: Amilose e amilopectina. Amilose consiste em cadeias longas não ramificadas de resíduos de D-glicose conectados por ligações glicosídicas (α 1-4), e amilopectina é altamente ramificada. As ligações glicosídicas que unem os resíduos sucessivos nas cadeias de amilopectina são (α 1-4), nos pontos de ramificação que ocorrem a cada (24 a 30 resíduos) são ligações (α 1-6) (Cox e Nelson, 2014).

estão presentes em pequenas proporções e desempenham o papel de propiciar características sensoriais específicas, como cor, sabor, viscosidade e aroma a cada tipo de cerveja (Schuina, 2018).

Tabela 2: Tipos do malte, classificação e aplicações (Schuina, 2018).

Tipo de malte	Classificação	Aplicações
Pilsner	Base	Malte fundamental na elaboração de qualquer tipo de cerveja, alto poder enzimático
Crystal	Especial	Confere cor dourada, aroma e sabor caramelo
Defumado	Especial	Atribui sabor e aroma defumado à cerveja
Viena	Base	Bom poder enzimático, usado na produção de cervejas âmbar
Carapils	Especial	Confere cor e sabor à cerveja
Caramelo	Especial	Confere cor dourada, aroma e sabor caramelo
Acidulado	Especial	Reduz o pH do mosto
Munique	Base	É indicado para cervejas alemãs, como a Altbier e a Dunkel
Chocolate	Especial	Confere cor, aroma e sabor
Preto	Especial	Confere cor, aroma e sabor, emprega-se nas cervejas escuras
Caramunich	Especial	Confere cor dourada, aroma e sabor caramelo
Pale ale	Base	Malte de alto poder enzimático, indicado para cervejas ales
Biscuit	Especial	Confere aroma e sabor torrado na cerveja similar ao do biscoito

2.2.4. Ingredientes adjuntos do malte

A eficiência no processo da produção da cerveja depende em grande parte do grau de fermentabilidade do mosto. Os adjuntos são todas as substâncias adicionadas ao mosto com o objectivo de substituir o malte como fonte de carboidratos, e apresentam composição e propriedades que complementam o malte. Deste modo, adiciona-se o adjunto de modo a diminuir os custos de produção. Os adjuntos são atraentes por diversos factores, podendo citar redução de custos de maltagem, o aumento da capacidade da brassagem, ou seja, a primeira

etapa na fabricação da cerveja, e a possibilidade da produção de cervejas mais claras (Afonso e Rosa, 2014).

Os adjuntos são divididos em duas classes: amiláceos e açucarados. Os adjuntos amiláceos possuem alto teor do amido, podem ser citados o trigo, o milho, o arroz e a cevada não malteada. Estes passam por um tratamento na sala de brassagem que visa a monomerização das longas cadeias do amido pela hidrólise enzimática (figura 6). Deve-se ter atenção à temperatura de gelatinização dos adjuntos, pois dependendo da mesma, pode ser necessário efectuar a gelatinização separadamente (D'Avila, 2012; Afonso e Rosa, 2014).

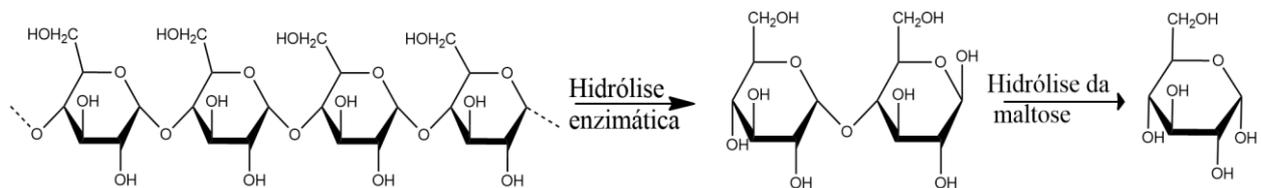


Figura 6: Demonstração da hidrólise enzimática de uma cadeia de amiláceo até à formação de um carboidrato simples (Cox e Nelson, 2014).

A segunda classe dos adjuntos do malte são os açucarados; estes não necessitam de sofrer hidrólise, o que é vantajoso para o processo. Os principais adjuntos açucarados são o xarope de maltose e o açúcar invertido. A adição dos mesmos na fabricação da cerveja pode-se fazer directamente na etapa de fervura, diminuindo a necessidade enzimática e de espaço físico durante a mosturação (Schuina, 2018).

2.2.5. Levedura

A transformação do mosto em cerveja ocorre graças aos organismos unicelulares pertencentes ao reino fungi, geralmente do género *Saccharomyces*. As leveduras utilizadas na fabricação da cerveja, de forma genérica podem ser divididas em leveduras *ales* (levedura de alta fermentação), e *lager* (levedura de baixa fermentação) (Bortoli, 2013).

A classificação é feita baseando-se em características específicas de cada tipo de levedura. A levedura *ale* fermenta o mosto no intervalo de temperatura entre 18 e 22 °C, e as *lagers* entre 7 e 15 °C. O tempo de fermentação é outro factor diferencial, a levedura *ale* leva geralmente 3 a 5 dias, e de 7 a 10 dias para a *lager*. Após a fermentação, as leveduras *lagers* depositam-se no fundo da dorna, enquanto as *ales* prevalecem na superfície do mosto, porém esta última variação tem-se tornado pouco comum, visto que ambas as leveduras, após o término da fermentação, decantam-se e são removidas pela parte inferior da dorna (Bamforth, 2002).

Um aspecto de extrema importância quando se pretende efectuar a escolha da levedura, são as características sensoriais que cada tipo atribui ao produto final. A levedura *ale* tende a atribuir à cerveja um sabor mais frutado e característico da estirpe, as *lagers* caracterizam-se por não atribuir tantos aspectos sensoriais à cerveja, obtendo-se uma bebida com uma característica neutra (Steensels *et al.*, 2015).

O crescimento das cervejarias artesanais tem aumentado a utilização de leveduras selvagens, como as do género *Brettanomyces*, *Kluyveromyces*, *Candida* ou *Zygosaccharomyces*. No caso da *Brettanomyces*, este género de levedura era usado simplesmente em cervejas de fermentação espontânea, pois possui uma característica peculiar que lhe permite efectuar a fermentação alcoólica tanto como a metabólica do ácido acético, obtendo-se com isso um sabor único à cerveja; como exemplo pode-se citar a cerveja Lambic (Steensels *et al.*, 2015).

2.2.6. Lúpulo

O lúpulo é um dos ingredientes mais importantes da cerveja que contribui em aspectos sensoriais. Cientificamente o lúpulo é *Humulus lupulus* L., pertence à família *Cannabaceae*. É uma planta perene, o que significa que perde a parte aérea durante o inverno, de caule volúvel, dióica e com idade económica de cultivo superior a 20 anos (Rodrigues, Morais e De Castro 2015).

O lúpulo (*Humulus lupulus*) quanto ao cultivo distribui-se em duas faixas a nível mundial, uma no hemisfério norte e outra no hemisfério sul, sendo nestas latitudes cultivadas vários cultivares. Da planta de lúpulo interessa-nos as inflorescências para a fabricação da cerveja, que, em função do cultivar, apresentam uma composição de alfa-ácidos e aromas próprias. A incorporação na cerveja pode ser feita sob a forma de vários produtos das próprias inflorescências, podendo ser na forma de pellets ou extracto (Rodrigues *et al.*, 2015).

i. Cultivares de lúpulo

O termo cultivares é empregue ao invés de variedades, porque é mais genérico e inclui as plantas que de alguma forma sofreram uma intervenção humana de modo a melhorar as suas características fisiológicas e químicas. São classificados três cultivares do lúpulo através das suas características na composição química: Amargo, Aroma e Misto (Rodrigues *et al.*, 2015).

a) Cultivares amargo

Caracteriza-se pelo alto teor de alfa-ácidos. A tabela 3 apresenta a composição química e os respectivos teores correspondentes ao cultivar *Herkules* como exemplo desta categoria.

Tabela 3: Composição química do cultivar amargo *Herkules* (Rodrigues *et al.*, 2015).

Composição	% m/m
α - ácidos	12.00 – 17.00
β – ácidos	4.00 – 5.50
Óleos essenciais	1.60 – 2.40
Polifenóis (taninos)	3.00 – 4.00
Farneseno (óleos totais)	<1.00
Mirceno (óleos totais)	30.00 – 50.00
Linalol (óleos totais)	0.30 – 0.80
Xantohumol (polifenol)	0.60 – 0.70

b) Cultivares aroma

Possuem um teor baixo de α – ácidos em comparação com o cultivar amargo, e caracterizam-se por apresentar um aroma agradável. Como mostra a tabela 4, nesta categoria o teor de α – ácidos situa-se entre 4 e 7%. A composição e os teores apresentados são correspondentes ao cultivar *Hallertauer Tradition*.

Tabela 4: Composição química do cultivar *Hallertauer Tradition* (Rodrigues *et al.*, 2015).

Composição	% m/m
α - ácidos	4.00 – 7.00
β – ácidos	3.00 – 6.00
Óleos essenciais	0.50 – 1.00
Polifenóis (taninos)	4.00 – 5.00
Farneseno (óleos totais)	<1.00
Mirceno (óleos totais)	17.00 – 32.00
Linalol (óleos totais)	0.70 – 1.20
Xantohumol (polifenol)	0.4

c) Cultivares mista

O cultivar misto foi desenvolvido de tal forma que pudesse combinar as propriedades dos cultivares amargo e aroma. Apresentam-se na tabela 5 dados correspondentes ao cultivar *Nugget*, um exemplo do cultivar misto.

Tabela 5: Composição química do cultivar *Nugget* (Rodrigues *et al.*, 2015).

Composição	% m/m
α - ácidos	11.50 – 14.00
β – ácidos	3.00 – 5.00
Óleos essenciais	0.90 – 1.30
Polifenóis (taninos)	3.00 – 4.00
Farneseno (óleos totais)	<1.00
Mirceno (óleos totais)	27.00 – 42.00
Linalol (óleos totais)	0.50 – 1.00
Xantohumulol (polifenol)	5.0 – 7.0

ii. Lupulina

Todos compostos químicos que constituem o lúpulo são encontrados na lupulina. A lupulina apresenta-se sob a forma de pó amarelo que se encontra no interior das inflorescências e protegido pelas brácteas e bractéolas. A composição da lupulina como já foi citado anteriormente varia de cultivar para cultivar, porém de forma genérica toda lupulina contém resinas moles, duras e óleos essenciais (Rodrigues *et al.*, 2015).

As resinas moles são apolares, na sua composição química são constituídas por α -ácidos e β -ácidos. Os α -ácidos conferem à cerveja o gosto amargo mais suave e dão estabilidade à espuma. No entanto, não são exactamente os α -ácidos que transmitem estas características, mas a sua forma isomerizada (Caballero, Blanco e Porras, 2012).

Os iso- α -ácidos são ácidos moderados com valores de pKa em torno de 3. São muito mais solúveis em cervejas lager, cujo pH está em torno de 4.2 e 4.4 do que os α -ácidos do lúpulo (pKa valores de 5.5), e são intensamente amargos (Caballero *et al.*, 2012).

Os α -ácidos são constituídos por humulonas com três formas principais e duas secundárias, que diferem num radical, podendo assim ser n-humulonas, co-humulonas, ad-humulonas (principais), e pré-humulonas e pós-humulonas. Os β -ácidos são também precursores do sabor amargo da cerveja. São constituídos por lupulonas (figura 7), aparecendo também as três formas principais como nas humulonas (Caballero *et al.*, 2012).

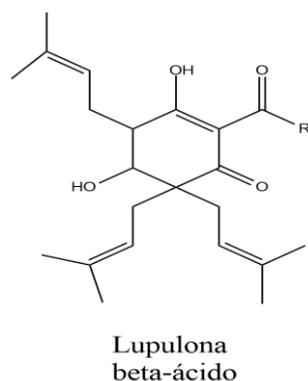


Figura 7: Estrutura química da lupulona (Adaptado de Clayden *et al.*, 2012)

A análise quantitativa dos α -ácidos revela alta concentração no mosto, mas apenas níveis baixos na cerveja. Isso porque durante a fervura do mosto, a conversão química mais importante da fabricação da cerveja ocorre que é a isomerização térmica dos α -ácidos (n-humulona, co-humulona e ad-humulona) através de uma contracção do anel do tipo aciloina (figura 8) (Caballero *et al.*, 2012).

A estabilidade de espuma mencionada anteriormente é influenciada pelas propriedades de cada estereoisómero. Cada estereoisómero possui diferentes potenciais de estabilização de espuma, este comportamento depende do carácter hidrofóbico do mesmo. Sabe-se que as trans-iso-humulonas estão presentes na espuma em maior proporção do que cis-iso-humulonas por serem mais hidrofóbicas (Hege *et al.*, 2018).

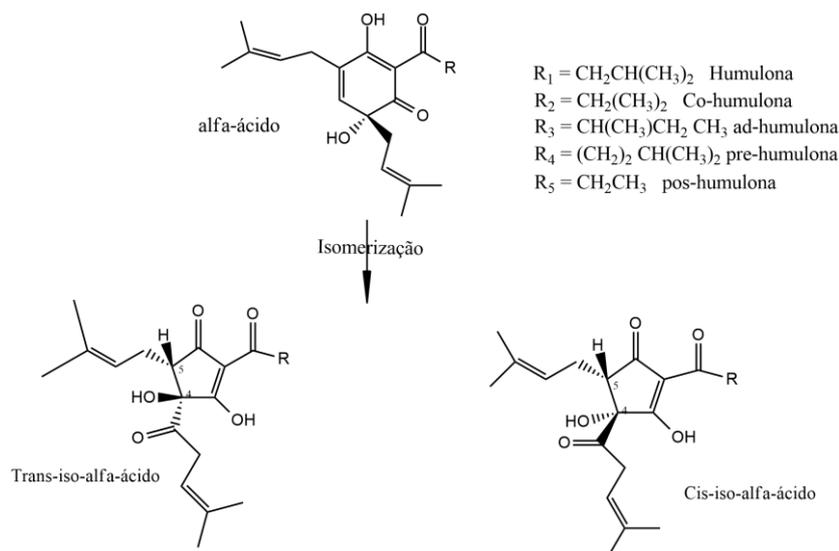


Figura 8: Estrutura química dos α -ácidos e a conversão via isomerização para iso- α -ácidos (Adaptado de Caballero *et al.*, 2012).

Os iso- α -ácidos ocorrem na bebida em concentrações que variam entre 15 e 100 mg/L, e o seu limite de detecção sensorial é cerca de 5 mg/L (Caballero *et al.*, 2012; Hege *et al.*, 2018). Cerca

de 80% do sabor amargo da cerveja é causado pelos iso- α -ácidos, mas existe uma grande diferença entre o amargor dos compostos individuais. Sabe-se que a mistura dos isómeros *cis* e *trans* das iso-humulonas tem um sabor mais amargo na cerveja do que as *trans*-iso-humulonas sozinhas. Além disso, a componente *cis* é significativamente mais amarga do que a contraparte *trans*, e as *n*-iso-humulonas são mais amargas do que as iso-co-humulonas (Caballero *et al.*, 2012).

O amargor da cerveja pode ser estimado por vários métodos. Uma medida aproximada é comumente obtida em cervejeiras por espectrofotometria a 275 nm. A quantidade total de agentes amargos é medida pela cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Actualmente pode-se obter resultados que concordam com os obtidos pela cromatografia líquida de alta eficiência pelo simples uso de uma língua electrónica com base em uma matriz de sensores de polipirrol, e determina-se a intensidade do amargor em uma única medida (Hege *et al.*, 2018).

2.3. Processo produtivo

Uma vez escolhido o tipo de cerveja, bem como os ingredientes a serem utilizados, inicia-se com o processo produtivo da cerveja. O fluxograma da produção da cerveja pode ser dividido em 11 etapas: Moagem, mosturação, clarificação, fervura, *whirpool* e arrefecimento, fermentação, maturação, filtragem, pasteurização e enchimento.

2.3.1. Moagem

A moagem é uma operação de redução de tamanho do malte e adjuntos para propiciar uma melhor acção enzimática e facilitar a extracção de compostos de interesse para o mosto. É crucial que se faça o controle do tamanho das partículas, pois com uma moagem muito grossa perde-se rendimento na extracção de açúcares e uma moagem muito fina pode trazer complicações na filtração (Altino, 2015).

A moagem de forma genérica é feita em moinho de rolo como mostrado pela figura 9b. Este tipo de moinho fornece uma quebra satisfatória do endosperma do grão sem comprometer a casca, que é utilizada como camada filtrante na mosturação. Os rolos podem ser dois e em outras configurações de quatro a seis no interior do moinho de rolos (Priest e Stewart, 2006; Schuina, 2018).

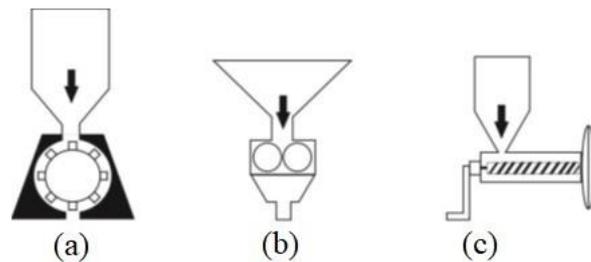


Figura 9: Moinho de martelo (a), rolo (b), e disco (c) (Schuina, 2018).

2.3.2. Mosturação

Terminada a moagem, segue a mosturação onde os grãos são suspensos em água e aquecidos a uma temperatura monitorada. O principal objectivo é realizar a hidrólise do amido em carboidratos simples a serem metabolizados pela levedura. Os principais processos químicos que ocorrem nesta etapa são catalisados por enzimas (Jones, 2005).

A mosturação é muito crucial, pois as etapas subsequentes (especialmente a fermentação) depende dos produtos gerados por enzimas nesta etapa. Ainda nesta fase, faz-se a adição do sulfato de cálcio (CaSO_4) e a principal função é incrementar o conteúdo mineral do mosto de modo a melhorar a qualidade fermentativa e produzir a cerveja com as características desejáveis. As vantagens que levam as cervejeiras a adicionarem CaSO_4 incluem a redução do pH durante a mosturação e fervura o que melhora a actividade enzimática, promove a precipitação de enzimas desnecessárias, melhora a fermentabilidade do mosto, reduz a extracção indesejada de silicatos, polifenóis (taninos), torna a cerveja mais clara, promove a retenção da espuma na cerveja e adiciona sulfato que promove uma sensação seca e amargo na boca (Supelco® Analytical Products, 2021).

A mosturação pode ser efectuada por infusão e por decocção. A infusão consiste no aquecimento conjunto da mistura de água e grãos de malte, e no repouso da mesma a uma determinada temperatura. Por exemplo, em uma mosturação em que se deseja a actuação de β -amilase por 30 minutos e de α -amilase por 30 minutos, a mistura do malte será aquecida (normalmente $1^\circ\text{C}/\text{min}$) até aproximadamente 62°C e permanecerá em repouso nesta temperatura, havendo, após o tempo determinado, um novo aquecimento e uma nova rampa em aproximadamente 70°C como ilustra a figura 10. Este é um exemplo de infusão múltipla; o processo que tem uma única rampa denomina-se infusão simples, e o número de rampas é determinado pela necessidade do processo (Schuina, 2018).

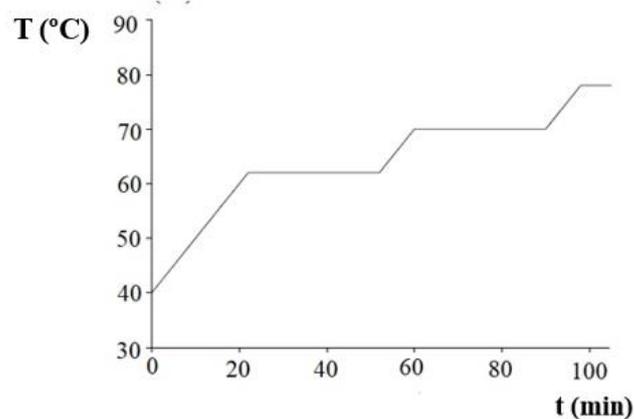


Figura 10: Curva de mosturação por infusão múltipla (Adaptado de Schuina, 2018)

Tal como na infusão, a decoção também irá possuir as rampas de repouso enzimático, e pode ser simples ou múltipla. A diferença entre os dois processos está na separação parcial da mistura água/grãos ou água/adjunto, aquecida à temperatura de ebulição e posteriormente misturada ao resto, fazendo com que o mosto alcance a temperatura desejada de mosturação (figura 11) (Schuina, 2018).

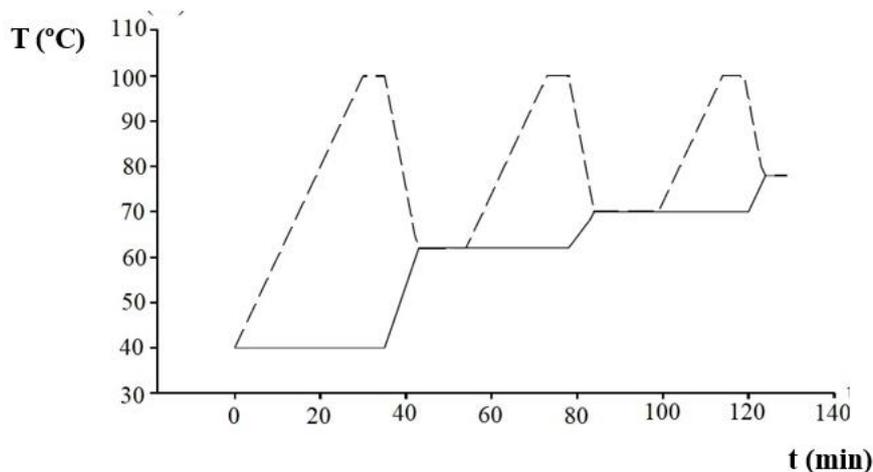


Figura 11: Curva de mosturação por decoção múltipla (Adaptado de Schuina, 2018)

As enzimas α e β -amilases são principalmente provenientes do malte, têm também as glucanases e as proteases com a mesma gênese. As glucanases são responsáveis pela hidrólise dos β -glucanos, principal componente da parede celular do endosperma do grão da cevada. A eficiência na hidrólise deste polímero é importante, pois caso a sua degradação seja ineficiente a actuação das enzimas amilolíticas fica dificultada, reduzindo assim o rendimento da mostura, além de aumentar a viscosidade do mosto e da cerveja, gerando problemas na filtração e turbidez na bebida (Durand *et al.*, 2009).

A temperatura óptima para actuação das glucanases é de 45°C, e como são as primeiras enzimas libertadas durante o processo de maltagem, se esta etapa se desenvolver com êxito, torna-se dispensável a actuação desta enzima na mosturação. As protéases actuam a uma temperatura óptima de 52°C, sobre a hidrólise das proteínas em peptídeos e aminoácidos. Os aminoácidos são nutrientes importantes para o desenvolvimento da levedura cervejeira (Jones, 2005).

Tal como acontece com as glucanases, utilizando-se um malte bem modificado na maltagem, torna-se dispensável a actuação das protéases no processo da mosturação. Por outro lado, se for empregue um adjunto rico em proteínas ou mesmo malte de trigo, pode ser realizado o repouso protéico (Jones, 2005).

Durante a mosturação, as amilases são enzimas de extrema importância, pois são responsáveis por tornar a mistura água/malte, que é rica em amido, em um mosto repleto de carboidratos simples fermentáveis. O processo de sacarificação ocorre com a gelatinização do grânulo de amido e subsequente actuação das enzimas, promovendo a liquefacção e a sacarificação do mosto conforme ilustra a figura 12. Na primeira etapa (i), as enzimas entram em contacto com o amido promovendo as lises necessárias para a formação dos oligossacarídeos (ii), que por sua vez passam pelo mesmo tratamento e culminam com uma mistura de carboidratos simples (iii) (Kunze, 2006).

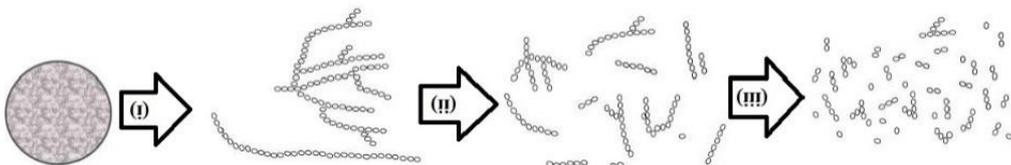


Figura 12: Gelatinização e sacarificação do amido durante a mosturação (Adaptado de Kunze, 2006).

Amidos de diferentes fontes apresentam faixas de temperatura de gelatinização diferentes. A figura 13 ilustra claramente que nem todos os amidos gelatinizam em temperaturas usualmente empregadas na mosturação. Em caso de utilização destes adjuntos, deve-se realizar uma gelatinização paralela (Schuina, 2018).

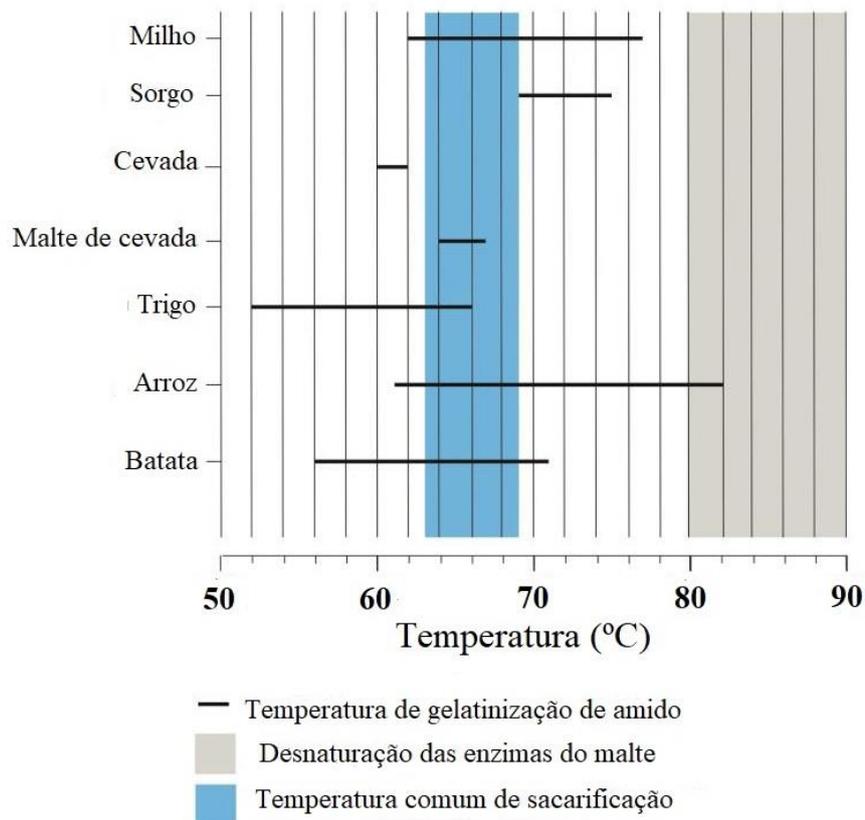


Figura 13: Temperatura de gelatinização de alguns amidos em relação à temperatura de mosturação (Briggs, 2004).

Os grânulos do amido são insolúveis em água a baixas temperaturas. Quando a mistura de água e grânulos de amido é submetida ao aquecimento, ocorre a gelatinização, um processo no qual o grânulo de amido, insolúvel em água fria, é submetido ao aquecimento na presença de água. Com o aquecimento, os grânulos absorvem água e incham. O aquecimento contínuo do mosto promove maior absorção da água, maior inchaço do grânulo e a lixiviação de amilose, até à ruptura total da estrutura do grânulo de amido (Damodaran, Parkin e Fennema, 2010).

A hidrólise enzimática é realizada principalmente pela acção das enzimas α e β – amilase. A temperatura óptima da α -amilase é de 68°C. Esta é uma endoenzima que cataliza as reacções α 1,4-glicosídicas, dando origem a dextrinas, maltotriose, maltose e glicose conforme mostra a figura 14. Para β -amilase, a temperatura óptima de acção é de 62°C, e é uma exo-enzima, i.e., age na extremidade da molécula produzindo maltose. Estas enzimas não são capazes de agir sobre as ligações glicosídicas do tipo α -1,6 presentes na amilopectina (Cox e Nelson, 2014; Xiao, Storms e Tsang, 2006).

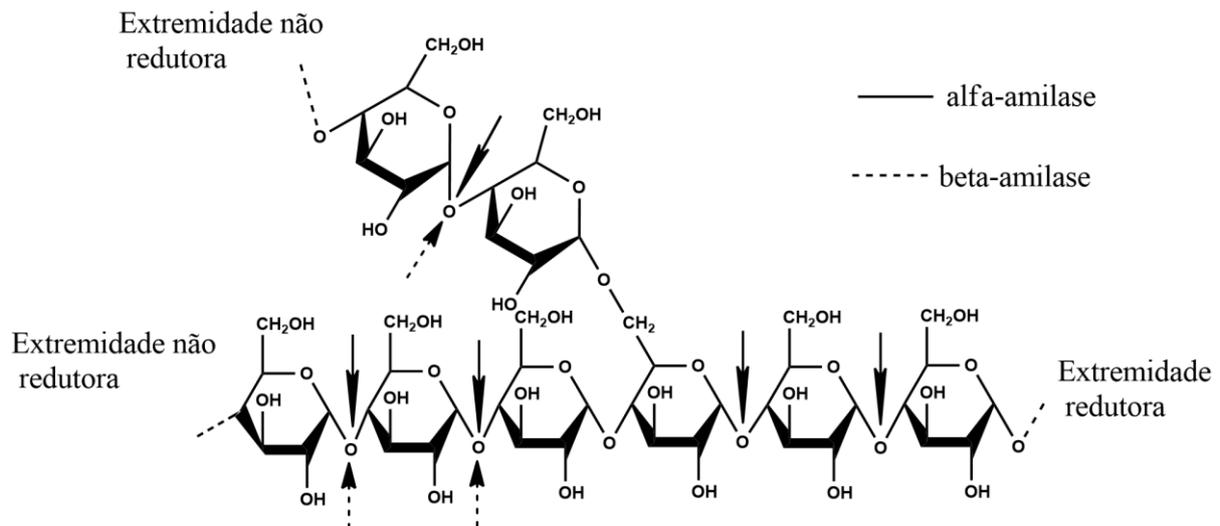


Figura 14: Acção de α -amilase e β -amilase sobre a cadeia da amilopectina (constituente do amido) (Adaptado de Cox e Nelson, 2014).

No fim deste processo, o mosto é composto por carboidratos fermentáveis, maltose em maior proporção. Os carboidratos resultantes desta etapa são matéria prima para as leveduras para a sua síntese metabólica e dextrinas, os quais estarão no produto final colaborando para a qualidade aparente e sensorial da cerveja. No fim da acção enzimática desejada, faz-se a inactivação por aquecimento até 75 - 78°C. O uso de temperaturas acima de 80°C faz com que haja a migração de taninos da casca do malte para o mosto deixando a cerveja com sensação de uma bebida seca (Schuina, 2018).

2.3.3. Filtração

É uma operação que é feita de modo a segregar partículas não dissolvidas como cascas provenientes do malte e adjuntos, através da tina de clarificação ou filtro prensa. O volume inicial é filtrado e re-circulado através da tina de clarificação até ao momento em que se apresenta visualmente limpo, i.e, sem a presença de partículas em suspensão. A partir deste momento, faz-se a lavagem, que consiste na adição da água a determinada temperatura, de acordo com as necessidades do processo, sobre o bagaço com o objectivo de extrair açúcares fermentáveis ainda retidos nas cascas (Aquarone *et al.*, 2001).

2.3.4. Fervura

Após a filtração, o mosto rico em carboidratos passa para a etapa da fervura. Importa referenciar que normalmente adiciona-se o lúpulo nesta etapa. Então, inicia-se a fervura, onde o mosto é aquecido até ao seu ponto de ebulição e deixa-se por duas horas para que todas as transformações necessárias tenham lugar (Schuina, 2018).

Dos eventos que decorrem nesta etapa, citamos a esterilização. O tempo pelo qual o mosto fica a altas temperaturas faz com que microorganismos e contaminantes, como bactérias e leveduras selvagens, sejam inativadas, permitindo a actuação específica da levedura cervejeira adicionada. Ocorre a redução do pH do mosto, alteração da cor (devido à quatro agentes principais, melanóides, polifenóis oxidados e metais vestigiais) e sabor, propiciadas pela reacção de Maillard, e a caramelização de açúcares (Dinslaken, 2015; Boulton e Quain, 2006).

Além dos microorganismos, as enzimas ainda presentes no mosto são também inativadas durante o aquecimento, e esta inactivação é um fenómeno desejável pois todas as alterações que poderiam proporcionar, ocorreram no processo de mosturação (Oliver, 2011).

Outro evento de grande importância que decorre nesta etapa, é a redução do volume da mistura do mosto com a evaporação da água (cerca de 4 a 8% do volume inicial), tornando o mosto mais concentrado e mais propício para a fermentação (Morado, 2009).

A vaporização da água ocorre em conjunto com a vaporização de compostos orgânicos voláteis do mosto. O dimetil sulfeto (*DMS*), formado pela decomposição térmica da S-metilmetionina, presente em maltes *lager*, no processo de ebulição, é rapidamente perdido pela vaporização. Traços deste composto conferem características desagradáveis à bebida, como o sabor de vegetal cozido (Briggs, 2004).

Além da adição do lúpulo antes da fervura, responsável pelo amargor da bebida, o lúpulo responsável pelo aroma adiciona-se no fim da ebulição (*late hopping*), para que haja a conservação dos compostos aromáticos (Silva e Faria, 2008).

De forma geral os lúpulos adicionados antes da fervura são cultivares com maior proporção de α -ácidos. A transformação de α -ácidos em iso- α -ácidos é uma sucessão de reacções químicas que requerem tempo e energia térmica. Envolve uma transferência de protões, reacções de tautomerização, rearranjo alfa-ceto, e por fim uma transferência de protões, como sinteticamente mostra a figura 15 (Jaskula *et al.*, 2008).

Os β -ácidos e os óleos essenciais do lúpulo são também extraídos durante a fervura e incorporam-se à bebida para conferir características sensoriais e de preservação ao produto. A estabilidade coloidal da cerveja ocorre em grande parte porque nesta etapa de fervura há remoção do material proteico, e a filtração e a clarificação ocorrem com facilidade. A agregação e precipitação das proteínas podem ocorrer por forças intermoleculares entre duas proteínas ou por interacções das mesmas com polifenóis (Schuina, 2018).

As proteínas e alguns complexos proteicos formam coágulos com um simples aquecimento, formando o que é conhecido por “*trub quente*”. Outros formam coágulos após o arrefecimento do mosto, formando o “*trub frio*”. Para facilitar a remoção do *trub*, adiciona-se substâncias como carragenina, que melhoram a aglomeração dos flóculos a serem precipitados (Schuina, 2018).

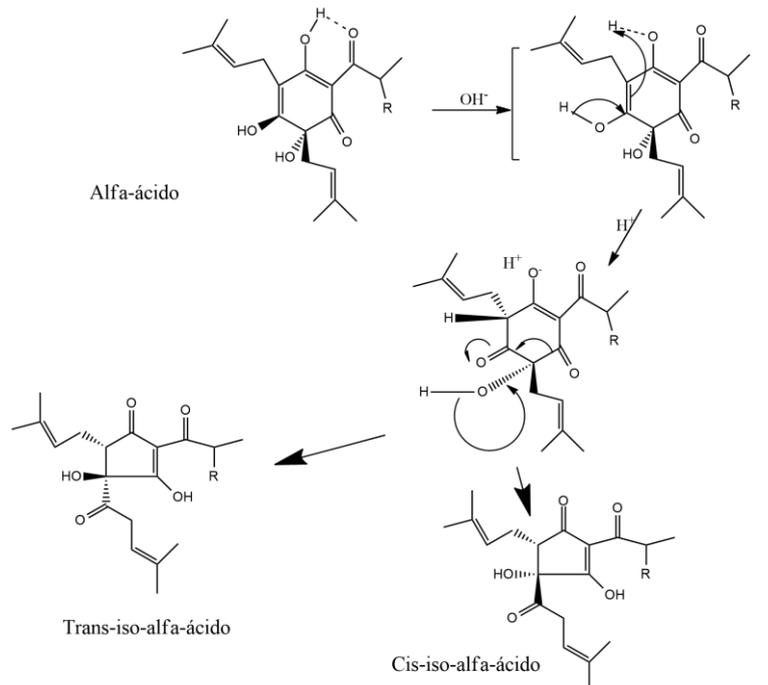


Figura 15: Isomerização das humolonas (Jaskula *et al.*, 2008)

Os principais objectivos da fervura podem ser resumidos em:

- ✓ Inactivar as enzimas;
- ✓ Extrair e isomerizar compostos derivados do lúpulo;
- ✓ Esterilizar o mosto;
- ✓ Coagular material proteico e garantir a formação de complexos com polifenóis (*trub*);
- ✓ Concentrar o mosto;
- ✓ Vaporizar substâncias indesejadas, modificação da cor e redução do pH.

2.3.5. Arrefecimento e *whirpool*

Ao fim da fervura, torna-se necessária a remoção de resíduos de lúpulo e do material protéico. O *whirpool* é um método empregue para este fim, que consiste na aplicação da força centrípeta em relação ao volume total da tina de fervura, seguido de um intervalo de repouso, permitindo que todos os resíduos (*trub*) se aglutinem e depositem no centro da tina. A remoção do *trub* é importante para a obtenção de uma cerveja com boas características como o brilho e sabor

suave. Após a remoção do *trub*, o mosto é arrefecido rapidamente até à temperatura de fermentação, um processo que se realiza nos trocadores de calor (Kunze, 2006).

Na produção artesanal, o mosto é arrefecido com uma serpentina (*chiller*), e em seguida, é agitado de forma circular vigorosamente para o *trub* se posicionar na parte central no fundo do recipiente, separando-o de forma similar ao processo industrial (Dinslaken, 2015).

Antes de transferir o mosto para o processo de fermentação, é necessário o seu arrefecimento até à temperatura ideal de fermentação; nas microcervejeiras emprega-se trocadores de calor de placas, em função da sua alta eficiência de troca térmica e facilidade de sanitização. Para o arrefecimento, fluem em contracorrente, separados através de placas de aço inoxidável, o mosto quente e o fluido refrigerante, composto por uma mistura de água em etilenoglicol ou etanol (Spies, 2018).

A temperatura na saída do trocador de calor varia de acordo com a temperatura de fermentação da cerveja a ser produzida, mantendo-se entre 10 e 20°C em média, considerando que a temperatura de entrada no trocador de calor situa-se entre 85 e 95°C. O arrefecimento do mosto deve ser rápido, evitando a formação de aromas indesejáveis e contaminação a partir de microorganismos do ambiente (Morado, 2009).

2.3.6. Fermentação

O mosto rico em carboidratos, esterilizado, e à temperatura de inoculação da levedura, é então submetido ao processo da fermentação. Esta é a etapa principal do processo da produção da cerveja, onde ocorrem as principais alterações químicas, como a formação do etanol (equação 1) e diversos subprodutos do metabolismo da levedura que farão parte do sabor e aroma da cerveja (Olaniran, Maharaj e Pillay, 2011).



Equação 1: Acção da levedura na conversão de carboidratos simples em etanol.

Visto que a concentração do oxigénio no mosto após a fervura é muito baixa, torna-se necessária a aeração do mosto com o objectivo de acelerar e facilitar a multiplicação celular da levedura durante os momentos iniciais da fermentação (Palmer, 2006).

Por se tratar de um microorganismo anaeróbico facultativo, no início do processo, o oxigénio dissolvido no mosto auxilia na adaptação da levedura ao meio, favorecendo o crescimento celular dos microorganismos com formação do dióxido de carbono e água. Tem-se assim o

processo da respiração, que acontece por meio da via glicolítica, seguida do ciclo de Krebs (Briggs, 2004).

Com o passar do tempo o oxigénio dissolvido esgota-se, e a levedura passa a actuar em anaerobiose. A principal via bioquímica para uma célula de levedura produzir energia na ausência do oxigénio é a fermentação alcoólica. Neste processo, após a via glicolítica, o piruvato é convertido em etanol e dióxido de carbono (Priest e Stewart, 2006).

Durante o processo fermentativo, além do álcool e dióxido de carbono, há vários outros compostos que são formados por vias metabólicas secundárias. Estes compostos secundários são ésteres (acetato de etilo, acetato de iso-amilo, acetato de n-propilo), ácidos (acético, propiónico) e álcoois superiores (propan-1-ol, 2-metilpropan-1-ol, 2-metilbutan-1-ol e 3-metilbutan-1-ol) que conferem propriedades organolépticas à cerveja (Afonso e Rosa, 2014).

Os álcoois superiores podem ser formados pela síntese de carboidratos do mosto ou então como substratos da assimilação dos aminoácidos. Os ésteres por sua vez são compostos formados em reacções de condensação de um álcool superior e acetil-coenzima-A activada. Pode-se encontrar mais de 100 tipos de ésteres diferentes na cerveja, os quais estão correlacionados ao sabor frutado/floral da bebida (Liu, 2015).

Outra classe dos compostos presente em grande quantidade são os compostos carbonilo. A concentração de aldeídos e di-cetonas vicinais é influenciada pelo metabolismo da levedura. São compostos que conferem características, de modo geral, indesejáveis à cerveja, como sabor de manteiga, de papel, de metal, entre outros. Os mesmos devem ser controlados, para estarem presentes em níveis aceitáveis no produto final (Dasari e Kölling, 2011).

Diversos factores influenciam na fermentação, factores físicos (temperatura, pressão osmótica, densidade do mosto), químicos (pH, concentração do oxigénio dissolvido, nutrientes minerais e orgânicos inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem, e concentração da levedura, contaminação bacteriana), que afectam o rendimento da fermentação, ou seja, a eficiência com a qual há conversão do açúcar em etanol. Geralmente as quedas na eficiência da fermentação decorrem de uma alteração na estequiometria do processo, levando à maior formação de produtos secundários (especialmente glicerol, ácidos orgânicos e biomassa) (Lima *et al.*, 2016).

O metabolismo da levedura é uma variável extremamente importante para a obtenção do produto de interesse. Na produção da cerveja em batelada (técnica frequentemente empregue na produção artesanal), as células são inoculadas no fermentador com o mosto em uma concentração de substrato já definida para o processo. As leveduras utilizadas passam por todas

as etapas de desenvolvimento de microorganismos: lag, exponencial, estacionária e de declínio conforme mostra a figura 16 (Kugelmeier, 2013; Munroe, 2006).

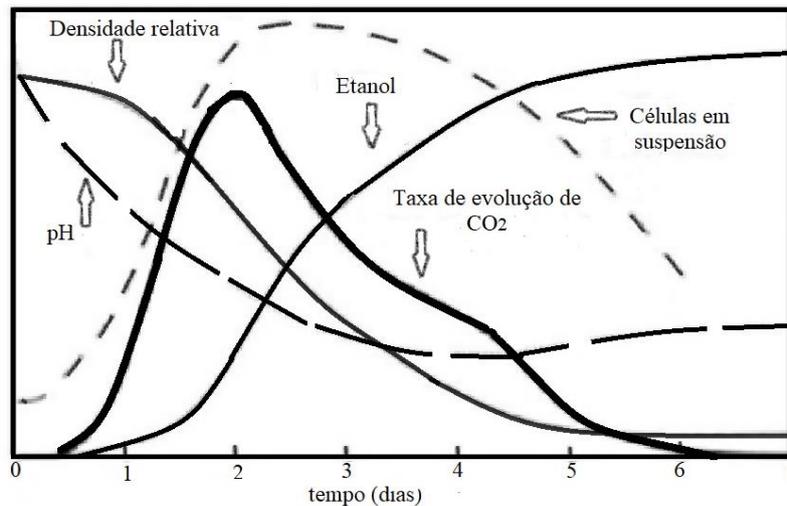


Figura 16: Cinética da fermentação da cerveja (Munroe, 2006)

A inoculação dos microorganismos dá-se normalmente na ordem de 10 000 000 células por mililitro. No início do processo, os microorganismos adaptam-se ao meio rico em nutrientes e iniciam a síntese das enzimas necessárias para metabolizar os nutrientes disponíveis, esta fase é conhecida por fase lag. Segue uma fase de transição, e os microorganismos entram em fase de crescimento exponencial, que se dá devido à presença de nutrientes em concentrações adequadas no mosto. Com o passar do tempo, a concentração dos nutrientes baixa e há alta concentração dos produtos, e atinge-se a fase estacionária (Carvalho e Zambiasi, 2011).

O aumento da concentração dos produtos em relação ao substrato cria condições não favoráveis, e a taxa de crescimento da levedura começa a decair, chegando à última fase da curva de crescimento dos microorganismos, de declínio, fase em que a taxa de crescimento é menor que a taxa de mortalidade (Schuina, 2018).

O etanol é o metabólito primário e acompanha o crescimento da levedura. Logo, a maior taxa de produção de etanol ocorre no período de crescimento exponencial das leveduras (Munroe, 2006).

Na classificação das cervejas, segregamos de acordo com o processo fermentativo cervejas *ale* e *lager*. De modo geral, a fermentação que ocorre a temperaturas mais altas propicia a formação de metabólitos secundários, enquanto em uma fermentação em temperaturas mais baixas há uma menor produção dos mesmos. A figura 17, mostra a quantidade destes compostos durante a fermentação da cerveja *ale* e *lager*. É evidente a menor formação do teor de álcoois superiores

e de ésteres na cerveja *lager*, um estilo que se caracteriza por um sabor mais neutro (Hiralal, Olaniran e Pillay, 2014).

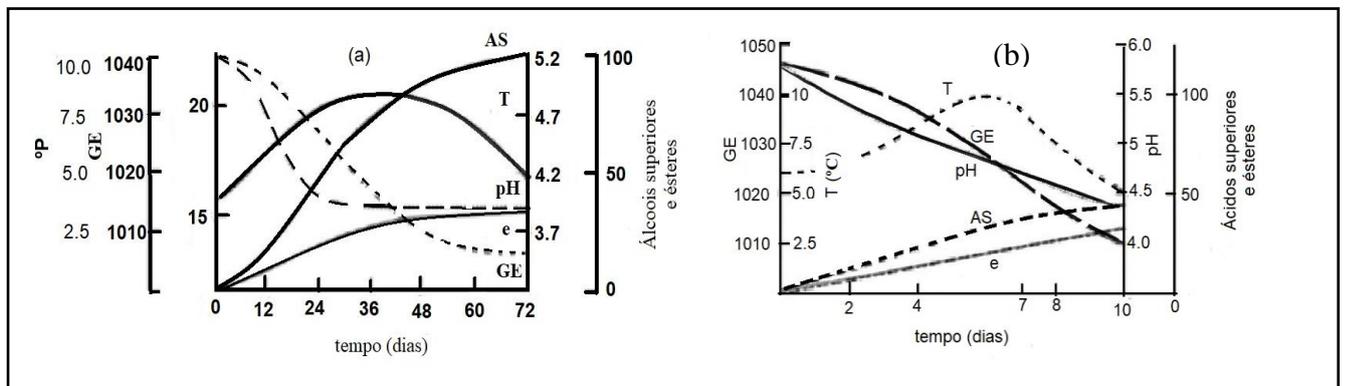


Figura 17: Alterações no nível de álcoois superiores ao longo da fermentação da cerveja *ale* (a) e *lager* (b) (Briggs, 2004).

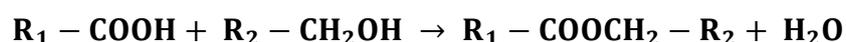
Legenda: GE – Gravidade específica; AS – álcoois superiores; E – ésteres; T – Temperatura.

2.3.7. Maturação

Uma vez concluída a fermentação, a cerveja é arrefecida a 0°C. As baixas temperaturas fazem com que haja sedimentação das células da levedura, que são separadas por decantação, e tem início a maturação. Nesta fase pequenas e subtis transformações de polimento ocorrem de modo a aprimorar o sabor da cerveja. Os carboidratos residuais são consumidos pela levedura remanescente, fenómeno conhecido por fermentação secundária (Afonso e Rosa, 2014).

Nesta etapa acontecem reacções físico-químicas que transformam o aspecto visual e produzem sabores e aromas característicos à bebida. A temperatura de maturação pode variar entre 0 e 10°C dependendo do estilo da cerveja a ser produzido. É durante a maturação que se faz a adição de especiarias, com o intuito de introduzir características sensoriais que diferenciem o seu produto (Morado, 2009).

Desencadeiam-se as reacções de esterificação entre os ácidos e os álcoois produzidos na fermentação, que produzem muitos dos ésteres essenciais para o sabor da cerveja (equação 2) (Afonso e Rosa, 2014).



Equação 2: Esterificação dos ácidos produzidos pelo metabolismo secundário das leveduras

Na fermentação secundária, ocorre também o metabolismo de substâncias indesejáveis oriundas da fermentação (acetaldeído em ácido acético, di-cetonas vicinais, como a 2,3-

pentanodiona em 2,3-butanodiol, e compostos sulfurados como o sulfeto de di-etilo (C_2H_5)₂S, em sulfatos inorgânicos e etanol). A maturação leva de 6 a 30 dias, variando de uma cervejaria para outra. No fim desta fase, a cerveja está praticamente concluída com aroma e sabor definidos (Afonso e Rosa, 2014).

Outras características são intencionalmente ajustadas na etapa da maturação, a cor pode ser ajustada usando corante caramelo, o amargor alterado pela utilização de extractos de lúpulo isomerizados, e o aroma pelo processo de lupulagem a frio. Lupulagem a frio ou *dry hopping*, em língua inglesa, consiste na adição de lúpulo ao longo do processo de maturação da cerveja. Esta prática tem origens inglesas, e os primeiros registos datam do século XIX. É uma técnica que era empregue com o intuito de incrementar a estabilidade microbiológica da cerveja (Rebello, 2009; Schönberger, 2012).

2.3.8. Filtração

Alguns dos compostos responsáveis pela turbidez da cerveja estão presentes mesmo depois da maturação. Quando se pretende efectuar a clarificação, pode-se aplicar diferentes técnicas, como a sedimentação por gravidade, uso de clarificantes, centrifugação e filtração (Schuina, 2018).

Após a maturação, a cerveja passa pela etapa da filtração; nesta etapa adiciona-se um material adsorvente designado de terra diatomácea. A terra diatomácea tem a função de remover partículas em suspensão, principalmente células da levedura, e substâncias responsáveis por atribuir uma cor indesejável à cerveja (como pectinas e proteínas da resina dura do lúpulo), tal como o carvão activado no tratamento da água, deixando a bebida transparente e brilhante; importa referenciar que esta operação não altera a composição e nem o sabor da cerveja (Afonso e Rosa, 2014).

A terra diatomácea é um mineral de origem sedimentar rico em sílica, constituído por carapaças de algas minúsculas. A terra diatomácea é doseada de acordo com o volume de cerveja a ser filtrada, é depositada sobre uma superfície metálica, formando uma camada filtrante capaz de reter qualquer sólido em suspensão presente no produto fermentado, porém algumas microcervejeiras optam pela centrifugação para este fim (Palmer, 2006).

Existem alguns tipos de cerveja da classe *ale* que tradicionalmente não são filtrados, e nem centrifugados, como os de trigo. Isso é feito para que determinadas leveduras ainda sejam mantidas na bebida depois de envasada, propiciando características sensoriais peculiares ao produto final (Morado, 2009).

A sedimentação é uma técnica pouco eficiente, portanto é pouco usada para este fim, sendo útil às vezes como pré-clarificação por ser uma técnica bastante simples; a cerveja armazenada a baixas temperaturas propicia a floculação de compostos insolúveis. Para facilitar esta operação, são usados agentes clarificantes, compostos que aderem às proteínas facilitando a floculação de complexos insolúveis presentes na cerveja (Gassara, 2015).

Um dos principais agentes clarificantes usados é a sílica gel. As cervejeiras artesanais empregam mais a gelatina incolor e outro composto muito usado é o polivinilpolipirrolidona, que tem a capacidade de adsorver taninos e polifenóis presentes na cerveja, que podiam complexar-se em proteínas causando turvação (Goulart, 2011).

2.3.9. Carbonatação

A cerveja filtrada é armazenada em tanques de condicionamento, onde será submetida à carbonatação. Faz-se adição do dióxido de carbono (CO_2) nesta etapa, através da contrapressão do tanque, o gás é incorporado à bebida até atingir a concentração ideal para o enchimento, a temperatura durante esta etapa é mantida a 0°C para facilitar a introdução do gás como também a conservação do produto (Kunze, 2006).

É extremamente importante regular a concentração do CO_2 , pois afecta o pH e a percepção sensorial. Normalmente em cervejas, o CO_2 encontra-se em quantidades entre 1 e 1.15 Kg/hL; para uma determinada temperatura e pressão, a quantidade deste gás dissolvida segue a lei de Henry² (Postulkova, 2016).

2.3.10. Pasteurização

A pasteurização é um método de assegurar a conservação dos alimentos por meio de aquecimento térmico entre $60 - 70^\circ\text{C}$, em câmaras com jactos de água em temperaturas escalonadas e *a posteriori* arrefecimento. É uma técnica que visa a inactivação de microorganismos. Esta é uma etapa não obrigatória na fabricação da cerveja, desde que sejam garantidas boas práticas de higiene e segurança alimentar ao longo do processo (Afonso e Rosa, 2014; Carvalho, 2007).

² Lei de Henry: A pressão de vapor de um soluto volátil B, é proporcional à sua fracção molar na solução. $P_B = x_B \times K_B$. A constante da lei de Henry para o dióxido de carbono em água a 25°C e 1 atm é $K_{\text{CO}_2} = 1.6 \times 10^6$. Para a lei de Raoult, a constante de proporcionalidade é a pressão de vapor puro, neste caso é uma constante empírica (Atkins, 2003).

Graças a este processo é possível as cervejas assegurarem uma data de validade de 6 meses após a sua fabricação. A cerveja em barris não pasteurizada recebe o nome de chope, nesse caso a sua validade é normalmente fixada em 10 dias (chope claro), e 15 dias (chope escuro) (Afonso e Rosa, 2014).

Em princípio, a pasteurização da cerveja aumenta o tempo de prateleira e estabilidade, embora ocorram algumas alterações sensoriais provenientes do aquecimento. Esta etapa pode ser feita antes ou depois do enchimento. Para cervejas condicionadas em barris, emprega-se a pasteurização antes do enchimento. Na pasteurização de barris, a cerveja é aquecida até 70°C por alguns segundos, e em seguida arrefecida e condicionada em barris (Dunn, 2006).

Para a cerveja condicionada em latas e garrafas, é mais comumente utilizada a pasteurização pós enchimento. Neste processo, as garrafas ou latas passam por um túnel, onde inicialmente é borrifada água quente para promover o aquecimento lento da bebida até à temperatura em torno de 65°C, mantendo esta condição por alguns minutos. Em seguida, é borrifada água fria para promover o arrefecimento. Este processo é lento em comparação com o empregue para cerveja para barris, uma vez que a troca térmica é dificultada pelo volume do líquido e pela embalagem (Dunn, 2006).

2.3.11. Enchimento

Nesta etapa existem três possibilidades de condicionar o produto: Enchimento em garrafas, em latas e em barris. As três formas de enchimento demandam os mesmos cuidados quanto à sanitização, e é de extrema importância a limpeza dos recipientes e a eliminação de todo o oxigénio no seu interior, evitando buscar desta forma qualquer contaminação por microorganismos indesejáveis como também o surgimento de defeitos na bebida provocados por oxidação (Kunze, 2006).

O fluxograma a seguir (Figura 18) apresenta de forma sintética as etapas acima descritas:

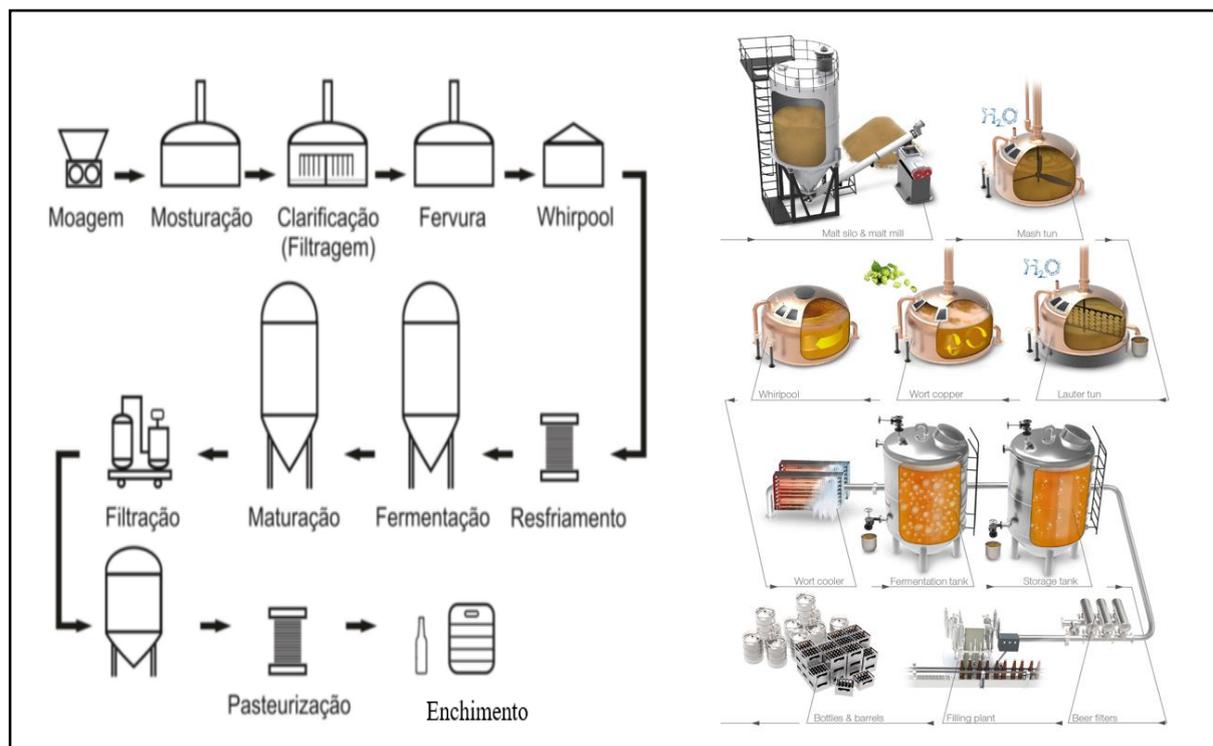


Figura 18: Fluxograma do processo de produção de cerveja (Schuina, 2018).

2.3.12. Controle de qualidade

A qualidade da cerveja depende da qualidade da matéria prima e da eficácia do processo produtivo. No que diz respeito a matéria prima, é necessário analisar a composição química da água, o tipo do malte, proporção malte/adjunto, quantidades, formas e pontos de adição do lúpulo, a assiduidade higiénica dos equipamentos e dos parâmetros físico-químicos (Vieira, 2015).

O controle de qualidade é composto por três tipos de análises: físico-químicos, microbiológicos e sensoriais (Afonso e Rosa, 2014). Para dar segmento a produtos seguros, a *FAO* e *OMS* estabelecem no *Codex Alimentarius* os aditivos que são legalmente aceites. Somente os aditivos alimentares listados pela norma na secção 14.2.1, edição 2021 são reconhecidos como adequados para o uso em cervejas e bebidas à base do malte, conforme mostra a tabela 6. São substâncias com o valor de Ingestão diária aceitável (*IDA*) determinado com base em critérios rigorosos, e foram estabelecidos como seguros pelo comité conjunto de especialistas em alimentos da *FAO*, *OMS* e *INS*.

Tabela 6: Lista dos aditivos aprovados pela *FAO*, *OMS* e *INS* para cervejas e produtos à base do malte (FAO/OMS Codex Alimentarius 2021).

Aditivo	INS	Ano	Quantidade máxima, mg/kg
Caramelo II (Sulfito de caramelo)	150b	2021	50 000
Caramelo III (Caramelo de amónia)	150c	2010	50 000
Caramelo IV (Caramelo de sulfito de amónia)	150d	2011	50 000
Carminas	120	2005	100
β -carotenos, vegetais	160a(ii)	2005	600
Curcumina	100(i)	2021	200
Tetra-acetato de etilenodiamina	385, 386	2004	25
Poli-dimetilsiloxano	900 ^a	1999	10
Poli-vinilpirolidona	1201	1999	10
Propileno glicol alginate	405	2018	500
Sulfitos	220-225, 599	2006	50
Tartratos	334, 335(ii), 337	2018	2000
Tartrazina	102	2021	500

No que diz respeito às análises de controle de qualidade, existem duas instituições que padronizam de forma geral as técnicas a serem seguidas na análise da cerveja, essas instituições são *EBC* e *ASBC*. Dentre as diversas análises, para as físico-químicas efectua-se a medição do pH, a quantificação de compostos químicos por cromatografia, análise dos teores dos extractos original, aparente e real, a determinação da cor, turbidez, amargor, teor alcoólico, cálcio, sódio, ferro, entre outros (Schuina, 2018).

No caso das análises físico-químicas, o controle do teor de carboidratos ou de etanol nas diversas fases da fabricação da cerveja é feito com o auxílio de densímetros, alcoolímetros, sacarímetros calibrados para a amostra a que se destinam. O pH mensurável de uma cerveja resulta da qualidade das matérias primas e da actividade biológica da levedura. Um valor de pH elevado pode indicar a contaminação bacteriana no mosto ou na cerveja, ou também pode tratar-se de um fraco desempenho da levedura devido ao envelhecimento. A determinação deste parâmetro é feita por meio de método potenciométrico com eléctrodo de vidro (Afonso e Rosa, 2014).

3. PARTE EXPERIMENTAL

A tabela 7 apresenta os equipamentos, materiais e reagentes empregues.

Tabela 7: Equipamentos, materiais e reagentes

Equipamentos	Materiais	Reagentes
Alcoolímetro (Anton Paar DMA 4500 M)	Copos de béquer plástico de (50 mL e 500 mL)	Amostras de fabricos/mosto e cerveja
Agitador horizontal (Labcon M100RS01)	Cuvetes de alcool�metro	Eriocromo Black-T (Rochelle Chemicals)
Agitador magnético (Boeco MSH 420)	Cuvetes (quartzo e sílica) para espectrofot�metro	Octan-1-ol (anti-espuma) 99.99% (Rochelle Chemicals)
Banho maria (Biobase M100WB01)	Erlenmeyer de 500 mL	Solu�o ajustadora de força i�nica (ISA HI4000-00) (HANNA instruments)
Bureta electrónica (Boeco DCB 5000)	Esguicho	Solu�o de ácido clorídrico a 6 N (Minema Chemicals)
Centrífuga (Avanti J15 Beckman coulter)	Espátula	Solu�o de EDTA a 0.01 N (Rochelle Chemicals)
Desionizador de �gua (Elix [®] Essential 3)	Iso-tubos 50 mL	Solu�o de sulfureto de sódio 2% (Acr�s Organics)
Eléctrodo de vidro para medi�o de pH (Orion Star A214 pH/ISE)	Suporte de iso-tubos	Solu�o de Iso-octano 99.99% (Minema Chemicals)
Eléctrodo de vidro para a medi�o de iões de sódio (Orion Star A214 pH/ISE)	Suporte de tubos de centrífuga	Solu�o saturada de oxalato de amônio (Riedel-de Ha�n)
Espectrofot�metro (HACCH-DR5000)	Parafilme	Solu�o tampão (NH ₃ /NH ₄ Cl) de pH 10 (Minema Chemicals)
	Proveta de vidro 100 mL	
	Pipetas de 5 e 10 mL	
	Tubos de centrifuga 100 mL	

3.1. Determinação de *IBU*

As amostras foram colhidas e mantidas a uma temperatura abaixo de 5 °C na geleira.

a) Amostras de mosto/fabricos

Fez-se a homogeneização das amostras; Enxaguou-se os tubos de centrífuga com amostra e colocou-se 20 mL de amostra; Centrifugou-se por 10 minutos a 2990 rpm; E por fim passou-se a amostra para um erlenmeyer sem a perturbação da parte sedimentada.

b) Amostras de cerveja

Mediu-se 110 mL da amostra para um erlenmeyer, adicionou-se duas gotas de octan-1-ol (antiespuma), e homogeneizou-se.

c) Amostras de mosto e cerveja

Mediu-se 10 mL de cada amostra para iso-tubos, adicionou-se 0.5 mL de HCl (para suprimir a ionização das humolonas) e 20 mL de iso-octano puro em cada amostra; De seguida as amostras foram colocadas no agitador horizontal por 15 minutos a 150 rpm; E por fim, centrifugou-se as amostras por 3 minutos a 2990 rpm.

d) Leitura de *IBU* no espectrofotómetro

As leituras foram feitas a 275 nm no espectrofotómetro. O equipamento foi calibrado para condição inicial com a solução de iso-octano. Por fim obteve-se os valores correspondentes através da equação: $[IBU (mg/L) = 50 \times A_{275}]$. Nesta equação, a taxa de absorvância é a razão entre a intensidade do feixe incidente e o emitido, e é multiplicada por 50 para se chegar à intensidade de *IBU* correspondente na escala EBC.

3.2. Determinação de coloração

As amostras do mosto foram filtradas com papel de filtro e terra diatomácea (pó filtrante). Para a cerveja, fez-se a decarbonatação pela agitação vigorosa num erlenmeyer, e a filtração não envolveu o uso da terra diatomácea. Antes da leitura, o equipamento foi calibrado para a condição inicial com água desionizada usando uma cuvete de sílica. A determinação da cor consistiu na leitura da absorvância no espectrofotómetro a 430 nm e calculou-se a intensidade da coloração segundo a equação: $[Cor (EBC) = 25 \times A_{430}]$. A taxa de absorvância é a razão entre a intensidade do feixe incidente e o emitido, e esta diferença é multiplicada por 25 para se chegar à cor correspondente na escala EBC.

3.3. Determinação do teor de íons de cálcio

O teor de íons de cálcio determinou-se através da dureza, portanto determinou-se a dureza nas amostras e converteu-se em íons de cálcio.

a) Determinação da dureza total

As amostras foram colhidas e mantidas a 20 °C.

i) Amostras de mosto

Filtrou-se as amostras do mosto sem o uso da terra diatomácea. Pipetou-se 20 mL da amostra filtrada para um balão de 100 mL, adicionou-se água, e fez-se a homogeneização. À amostra diluída fez-se a adição de 2 mL da solução de sulfureto de sódio. Adicionou-se 10 mL da solução tampão e 0.2 g do indicador eriocromo black-T. As amostras foram depois tituladas sob agitação magnética com a solução de EDTA.

ii) Amostras de cerveja

Descarbonatou-se as amostras, e filtrou-se para um erlenmeyer sem o uso da terra diatomácea. Os passos subsequentes são similares aos já descritos para o mosto.

b) Determinação da dureza parcial

i) Amostras de mosto

Fez-se a filtração do mosto sem o uso da terra diatomácea para um erlenmeyer. Pipetou-se 50 mL da amostra para um tubo de centrifugação, adicionou-se 3 mL da solução de oxalato de amônio, fez-se a homogeneização e selou-se os tubos com parafilme. Colocou-se água num béquer plástico de 500 mL até aproximadamente 30% da sua capacidade total e introduziu-se os tubos garantindo a estabilidade, e o béquer foi colocado no congelador a 4 °C por 2 h.

Findo o período de duas horas, removeu-se os tubos, fez-se a centrifugação durante 10 minutos a 2990 rpm e, sem perturbar o precipitado, pipetou-se 20 mL da amostra para um balão de 100 mL e fez-se a diluição. Por fim, à amostra diluída fez-se a adição de 2 mL da solução de sulfureto de sódio. Adicionou-se 10 mL da solução tampão e 0.2 g do indicador eriocromo black-T. As amostras foram depois tituladas sob agitação magnética com a solução de EDTA.

ii) Amostras de cerveja

Descarbonatou-se as amostras, e filtrou-se sem o uso da terra diatomácea. Os passos subsequentes são similares aos já descritos para o mosto.

3.4. Determinação do teor de iões de sódio

A determinação de iões de sódio foi feita com base no método potenciométrico. As amostras não passaram por nenhum tratamento que justifique a separação do procedimento, a temperatura de análise para este parâmetro foi de 25 °C. Fez-se a medição de 50 mL das amostras. Adicionou-se 5 mL da solução de *ISA* e fez-se a leitura no eléctrodo correspondente.

3.5. Determinação de pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico a 20 °C.

a) Amostras de mosto

Filtrou-se as amostras com uso de terra diatomácea. Mediu-se 50 mL do filtrado para um béquer de 100 mL, ajustou-se a temperatura e fez-se a leitura no eléctrodo correspondente.

a) Amostras de cerveja

Passou-se a amostra para um erlenmeyer e agitou-se para garantir uma distribuição uniforme e descarbonatação. Filtrou-se sem o uso da terra diatomácea. Fez-se a medição conforme no mosto.

3.6. Determinação do teor de álcool etílico, extracto primitivo e energia

Passou-se a amostra para um erlenmeyer e agitou-se para garantir uma distribuição uniforme do álcool e descarbonatação. As amostras foram filtradas para cuvetes do alcoolímetro. Insetiu-se as cuvetes no equipamento. O *DMA 4500 M* determina automaticamente com base nas propriedades da amostra o teor do álcool etílico, extracto e energia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 8 apresenta os resultados dos parâmetros na análise no mosto/fabricos. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de um factor e teste de Tukey com 95% de grau de confiança.

Tabela 8: Parâmetros físico-químicos referentes às amostras dos fabricos

Parâmetros					
Amostra	Cor, EBC	IBU, mg/L	Acidez (pH)	Na, mg/L	Ca, mg/L
26/11/22					
Fabrico 473	17.00	34.57	5.15	39.73	95.73
Fabrico 474	9.59	34.39	5.16	44.79	83.79
Fabrico 475	13.22	36.55	5.14	45.23	85.35
04/12/22					
Fabrico 494	13.09	42.49	5.15	42.59	93.97
Fabrico 495	14.54	41.64	5.14	41.27	87.30
Fabrico 496	13.35	40.28	5.13	39.79	87.38
07/12/22					
Fabrico 500	13.39	39.88	5.11	43.79	88.50
Fabrico 501	12.60	38.45	5.13	43.70	87.78
Fabrico 502	11.50	37.35	5.14	43.78	89.45

Segundo ANOVA não há diferença significativa nos diferentes fabricos para a cor, pH, cálcio e sódio. Porém, o *IBU* das diferentes amostras apresentou uma diferença significativa. Procedeu-se então com o teste de Tukey.

A figura 19 mostra comparativamente a diferença das médias de cada par de dados com o limite de teste de Tukey. Do gráfico da figura, concluímos que os resultados de *IBU* dos fabricos do dia 26/11 diferem significativamente dos outros. Isto pode ter sido resultado das variações térmicas durante o processo da dosagem do lúpulo que resultou na variação da concentração de iso-humulonas.

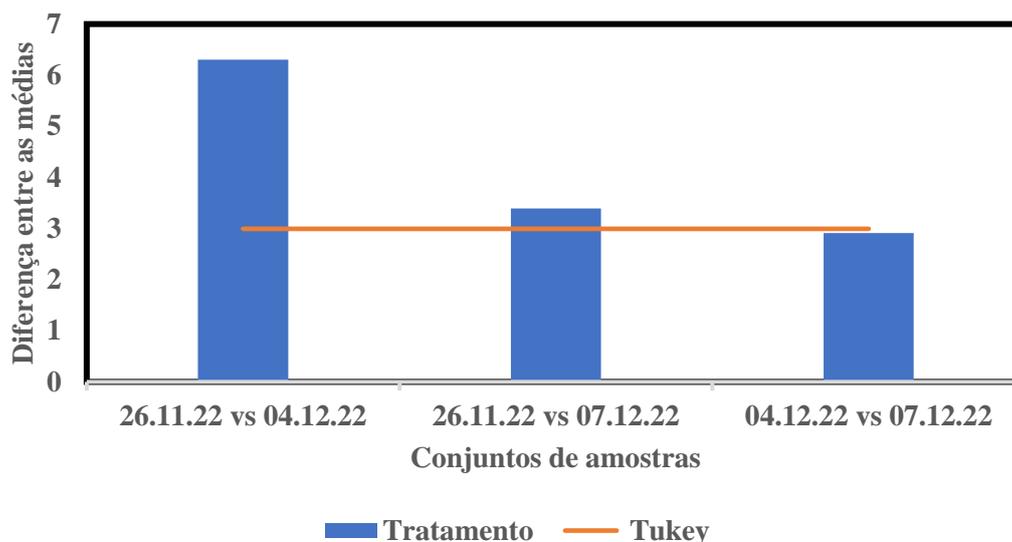


Figura 19: Comparação das médias de *IBU* nos fabricos pelo teste de Tukey.

Após o tratamento estatístico, determinou-se a média de cada parâmetro analisado nos fabricos conforme mostra a tabela 9. Nesta tabela, \bar{x} representa a média aritmética dos conjuntos de dados concordantes, t denota o valor crítico determinado para um nível de confiança de 95% e s é o desvio padrão da amostra, o qual é apresentado na segunda linha.

Tabela 9: Resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados no mosto

	Cor, EBC	IBU, mg/L	Acidez (pH)	Na, mg/L	Ca, mg/L
$\bar{x} \pm t * \frac{s}{\sqrt{n}}$	13.14 ± 1.55	40.02 ± 2.01	5.14 ± 0.01	42.74 ± 1.57	88.80 ± 2.95
s	2.02	1.92	0.01	2.04	3.83
%RSD	15.35	4.79	0.28	4.78	4.32

Tal como no tratamento dos fabricos, a tabela 10 apresenta os resultados físico-químicos referentes aos parâmetros em análise na cerveja. Os resultados foram submetidos ao tratamento estatístico.

Tabela 10: Parâmetros físico-químicos referentes ao produto acabado

Parâmetro								
Amostra	Cor, EBC	IBU, mg/L	pH	Na, mg/L	Ca, mg/L	Extracto original, %m/m	Energia, kJ/100m L	Álcool, %v/v
15/12/22								
Castle Lite	8.57	13.96	4.31	38.50	80.00	7.91	116.43	3.88
Castle Lite	8.19	13.93	4.34	43.30	84.35	8.80	130.09	4.22
Castle Lite	8.41	13.84	4.31	44.60	75.37	8.68	128.29	4.20
22/12/22								
Castle Lite	8.09	13.75	4.30	41.50	78.70	8.36	122.95	4.12
Castle Lite	8.35	14.20	4.31	40.20	87.30	7.89	116.06	3.87
Castle Lite	8.10	13.77	4.29	39.80	78.96	8.60	127.09	4.06
29/12/22								
Castle Lite	6.92	15.40	4.27	42.60	79.23	8.51	125.84	4.01
Castle Lite	7.19	14.87	4.32	43.70	80.20	8.33	123.02	3.92
Castle Lite	6.62	14.37	4.33	39.78	79.25	8.28	122.14	3.95

Os resultados de ANOVA mostram que não há diferença significativa dos resultados para o pH, Na, Ca, álcool etílico, extracto original e energia. Porém para a cor e IBU verificou-se a existência de uma diferença significativa. Recorreu-se ao teste de Tukey, conforme mostram os gráficos representados pelas figuras 20 e 21, de modo a identificar o conjunto que difere dos demais em cada parâmetro.

Ao interpretar os gráficos, observa-se que os dados referentes aos dias 15/12 e 22/12 não apresentam diferença significativa em relação aos parâmetros de *IBU* e coloração. No entanto, destaca-se uma disparidade estatisticamente significativa nos dados de *IBU* e coloração referentes ao dia 29/12, quando comparados aos demais.

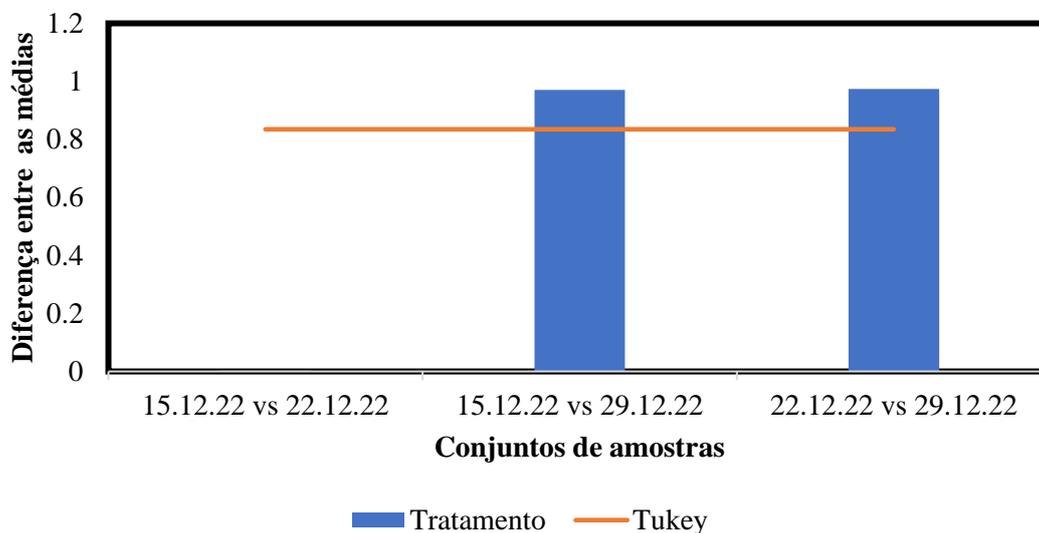


Figura 20: Comparação das médias de *IBU* na cerveja pelo teste de Tukey.

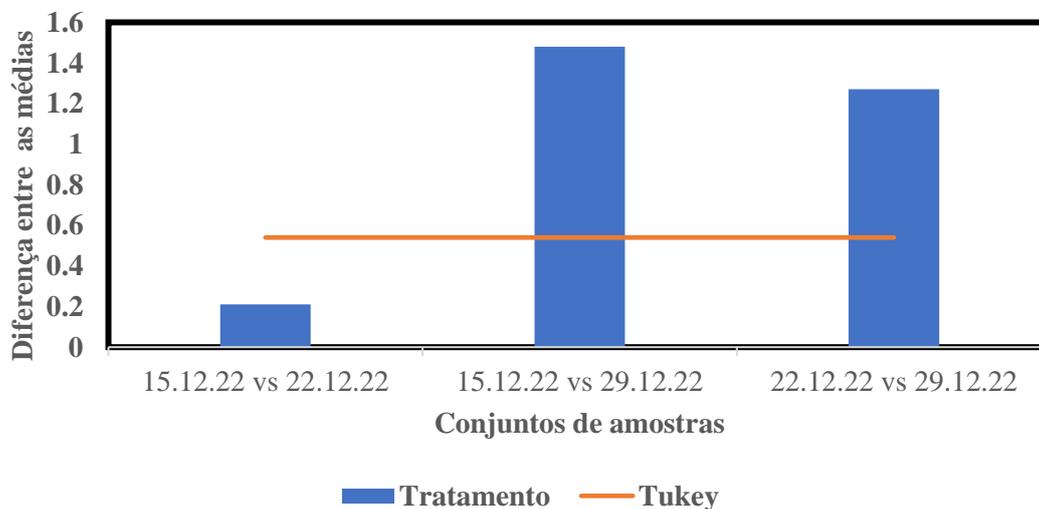


Figura 21: Comparação das médias de coloração na cerveja pelo teste de Tukey.

Após o tratamento estatístico, calculou-se a média de cada parâmetro na cerveja, conforme indicado na tabela 11. Nessa tabela, como já referenciado, \bar{x} representa a média aritmética em

cada parâmetro de conjuntos de dados que concordam entre si, t denota o valor crítico determinado com base no nível de confiança 95%, e s representa o desvio padrão da amostra, o qual é apresentado na segunda linha.

Tabela 11: Resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados na cerveja

	Cor, EBC	IBU, mg/L	Acidez (pH)	Na, mg/L	Ca, mg/L	Extracto primitivo, %m/m	Energia, kJ/100mL	Álcool, %V/V
$x \pm t * \frac{s}{\sqrt{n}}$	8.29 ± 0.75	13.91 ± 0.59	4.31 ± 0.02	41.55 ± 1.62	80.37 ± 2.67	8.37 ± 0.24	123.55 ± 3.78	4.03 ± 0.10
s	0.72	0.57	0.02	2.10	3.47	0.32	4.90	0.13
%RSD	8.67	4.06	0.48	5.06	4.32	3.79	3.97	3.30

4.1. Unidade Internacional de amargor (IBU)

O amargor na cerveja surge devido às humulonas (α -ácidos) que são extraídas do lúpulo e são isomerizadas durante a fervura. A sua determinação depende da supressão e ionização desses compostos pela adição do ácido clorídrico concentrado. São extraídas para o iso-octano durante a agitação. A fase aquosa é separada do solvente através da centrifugação.

O mosto lupulado segundo a lei N° 8.918 de Julho de 1994, é o mosto fervido com lúpulo. O extracto de lúpulo resulta por extracção por solvente adequado dos princípios aromáticos e amargos do lúpulo, isomerizados ou não, reduzidos ou não, devendo o produto final estar isento do solvente.

Os iso- α -ácidos são responsáveis pela grande parte do amargor da cerveja, mas existe uma grande diferença entre o amargor dos compostos individuais. A mistura dos isómeros *cis* e *trans* das iso-humulonas tem um sabor mais amargo na cerveja do que as *trans*-iso-humulonas sozinhas (Caballero *et al.*, 2012). A mistura de isómeros *cis* e *trans* de humulonas é mais amarga do que cada um isoladamente devido a interacção entre os dois isómeros. Essa interacção pode aumentar a percepção da amargura devido a sinergias ou efeitos aditivos entre os diferentes isómeros resultando em uma sensação de sabor mais intensa.

Os IBUs são medidos numa escala de 0 a 100 mg/L. As cervejas com baixo amargor apresentam o valor da concentração das iso-humulonas em torno de 5 a 15 mg/L como por exemplo a *Weisserbier Alemã*. Segundo Hege *et al.* (2012), o limite de detecção sensorial dos iso- α -ácidos

é de cerca de 5 mg/L, e ocorrem na bebida em concentrações que variam entre 15 e 100 mg/L. As cervejas em termos de amargor são classificadas em: Baixo, médio e intenso as que possuem as seguintes concentrações respectivamente: 0 e 20; 20 e 40; e maior que 50 mg/L.

Das amostras que foram analisadas, obteve-se para o mosto e produto acabado 40.02 ± 2.01 mg/L (coeficiente de variação de 4.79), e 13.91 ± 0.59 mg/L (coeficiente de variação 4.06) respectivamente. A análise estatística permitiu-nos concluir de forma genérica que tanto para o mosto assim como para cerveja embalada os resultados analíticos concordam em torno da média aritmética amostral.

O *IBU* apresenta um valor elevado no mosto, por se tratar de mosto lupulado, contém extractos do lúpulo a uma concentração elevada, fazendo com que haja grande concentração dos iso- α - ácidos isomerizados. A cerveja sofreu diluições e ajustes dos parâmetros para conciliar com as especificações, o que diminui a concentração de todas as iso-humulonas. A cerveja Castle Lite demonstra um índice de amargor baixo, sendo inferior a 20 mg/L.

4.2. Coloração

Em princípio, toda a cor da cerveja forma-se durante a produção do malte e do mosto, sendo responsáveis quatro agentes principais: melanóides, polifenóis oxidados, metais vestigiais (ferro e cobre) e riboflavina (Vieira, 2015).

O primeiro contribuinte para a cor da cerveja é o grupo de compostos designados por melanóides, pigmentos solúveis, com um intervalo de cores desde o amarelo-alaranjado até ao amarelo, formados a partir das reacções de Maillard. A segunda fonte significativa para a cor da cerveja são os polifenóis oxidados como os polifenóis do malte. A terceira fonte de cor pode ser devida às interacções com metais vestigiais; o cobre e o ferro podem estimular a oxidação de compostos (como os polifenóis). Finalmente, a riboflavina (vitamina B2 presente nas células da levedura) pode contribuir, significativamente, para a cor das cervejas (Vieira, 2015).

Castle Lite é uma cerveja *lager* premium com uma cor dourada clara. Segundo as especificações *EBC*, as cervejas *lager* claras apresentam uma cor que varia entre 4 e 8. Para o tratamento do mosto e produto acabado obteve-se 13.14 ± 1.55 *EBC* com coeficiente de variação de 15.35%, e 8.29 ± 0.75 *EBC* com 8.67% de coeficiente de variação respectivamente. Os coeficientes de variação sugerem uma precisão baixa entre os dados analíticos tanto no mosto como na cerveja.

Segundo a lei N° 8.918 de 14 de Julho de 1994, a cor nas cervejas é oriunda dos corantes do malte, podendo ser corrigida com caramelo. É clara a cerveja que tem uma cor inferior a 20 *EBC*.

Os resultados obtidos neste estudo estão em concordância com a Lei N° 8.918 e os padrões *EBC* para uma cerveja *Lager* clara. A elevada concentração de substâncias responsáveis pela coloração (melanóides, polifenóis oxidados, metais vestigiais e riboflavina) faz com que no mosto haja observação de um valor superior ao obtido na cerveja embalada. Após a fermentação, diluição e filtração ocorre a diminuição da concentração dessas substâncias e a cor ajusta-se ao valor desejado.

4.3. Teor de íões de cálcio, sódio e pH

Aproximadamente 75% dos minerais encontrados na cerveja são principalmente provenientes da cevada, enquanto os restantes 25% têm origem na água, no lúpulo e em outros aditivos. O cálcio, por exemplo, é também resultado da adição de sulfato de cálcio (CaSO_4), desempenhando um papel essencial nos processos físicos, químicos e biológicos da levedura (Supelco® Analytical Products, 2021).

O pH faz parte dos principais parâmetros de controle que serve de indicador para diversas inconformidades. Um valor de pH elevado pode indicar a contaminação bacteriana no mosto ou na cerveja, ou também pode tratar-se de um fraco desempenho da levedura devido ao envelhecimento (Afonso e Rosa, 2014).

Obteve-se 5.14 ± 0.01 (coeficiente de variação 0.28), 88.80 ± 2.95 mg/L (coeficiente de variação 4.32%), e 42.74 ± 1.57 mg/L (coeficiente de variação 4.78%) como valores de pH, Ca e Na no mosto respectivamente.

Para a cerveja, os dados foram 4.31 ± 0.02 (coeficiente de variação 0.48%), 41.55 ± 1.62 mg/L (coeficiente de variação 5.06%), 80.37 ± 2.67 mg/L (coeficiente de variação 4.32%), como valores de pH, Na e Ca respectivamente. De forma geral, os coeficientes de variação sugerem uma boa precisão tanto no mosto assim como na cerveja.

Os iso- α -ácidos, que têm valores de pKa em torno de 3, são ácidos moderados e exibem maior solubilidade em cervejas lager, com um pH entre 4.2 e 4.4, em comparação com os α -ácidos do lúpulo (pKa de 5.5). Além disso, eles conferem intensidade amarga à cerveja (Caballero *et al.*, 2012). Em relação ao perfil iônico, cervejas lager geralmente mantêm teores de cálcio entre 8 e 80 mg/L, sódio entre 38 e 42 mg/L, com um pH variando de 4.1 a 4.6, conforme as especificações internas da companhia.

A acidez da cerveja foi avaliada em termos do pH. Resulta do grande número de substâncias que se ionizam libertando prótons em solução, a complexidade da matriz cervejeira torna difícil indicar todas as fontes dessas iões, porém as substâncias maioritariamente responsáveis são as humulonas (α -ácidos), os álcoois e outros derivados formados durante a fermentação e o ácido carbónico (Gama e Matos, 2019).

4.4. Extracto primitivo, energia e etanol

A legislação brasileira N° 8.918 estabelece que quanto ao extracto primitivo, a cerveja cujo extracto esteja entre 5% e 10.5% é leve. Para além desta condição, se uma marca de cerveja cumpre cumulativamente a condição anterior e possuir por cada 100 mL um valor energético inferior a 150 kJ será tida como *light*.

Das amostras analisadas, obteve-se em média para o extracto primitivo, energia e etanol os seguintes valores respectivamente: $8.37 \pm 0.24\%$ (RSD 3.79%), 123.55 ± 3.78 kJ/100 mL (RSD 3.97%), e 4.03 ± 0.10 % V/V (RSD 3.30%). Os coeficientes de variação sugerem alta concordância entre os resultados.

O extracto é o conjunto de carboidratos, proteínas e sais minerais contidos no mosto. O extracto primitivo representa o extracto do mosto do malte e como ilustram os resultados analíticos, a cerveja Castle Lite (que foi o alvo de estudo neste trabalho), observa as condições necessárias para uma cerveja *light*. Possui um extracto primitivo abaixo de 10.5%, o valor energético em kJ para cada 100 mL também inferior a 150 kJ como previsto pela lei N° 8.918.

Uma cerveja cujo teor alcoólico está entre 2 e 4.5% é uma cerveja de teor alcoólico médio. O *Codex Alimentarius* emitido pela FAO obriga que todos os alimentos com teor alcoólico acima de 0.5% tenha a informação rotulada. Para confrontar com o valor referencial da marca (4.00% V/V), determinou-se o teor alcoólico das amostras, e percebeu-se que o valor experimental ($4.03 \pm 0.10\%$ V/V) não se desvia da referência 4.00 V/V conforme o rótulo, respeitando assim um dos critérios da *FSSC 22000*.

Por forma a melhor visualizar a tendência dos valores dos parâmetros analisados no mosto e na cerveja, a figura 22 apresenta de forma resumida o que foi discutido anteriormente. Nota-se evidentemente que os parâmetros na cerveja embalada são menos acentuados devido ao tratamento de polimento pelo qual a cerveja foi submetido. E, por consequência, para os parâmetros analisados em ambas amostras, o gráfico do mosto está acima como previsto.

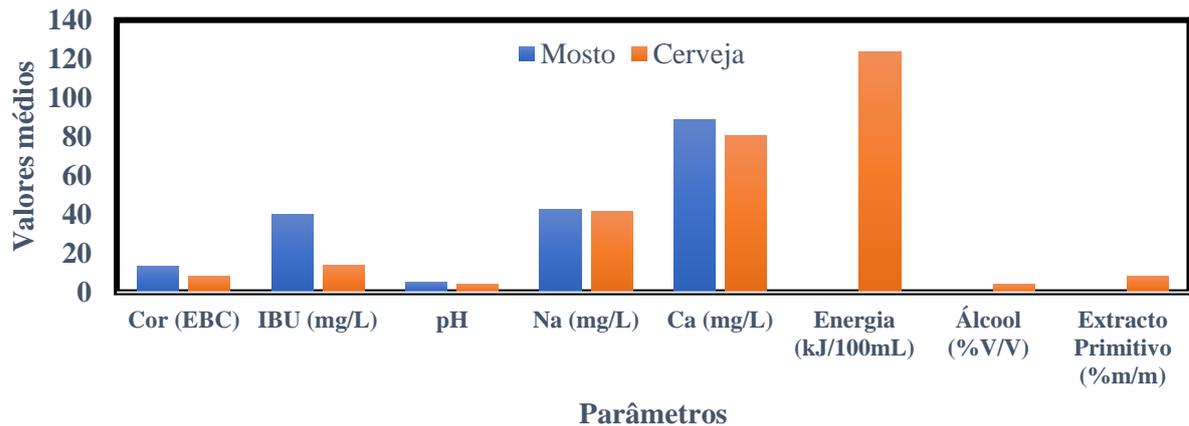


Figura 22: Comparação dos valores experimentais de mosto e cerveja.

Por fim a combinação das legislações (*Food Safety System Certification*, Organização das Nações Unidas para a Alimentação/ Organização Mundial da Saúde e a lei Brasileira Nº 8.918 de 14 de Julho de 1994) permitiu estabelecer os limites mínimos e máximos dos valores dos parâmetros analisados para uma cerveja clara, *lager* e *light* (figura 23). Os dados analíticos estão representados pelo gráfico a verde, o amarelo e o vermelho representam os mínimos e máximos respectivamente.

Assim torna-se evidente que a Castle Lite produzida pela cervejas de Moçambique, mostrou-se estar em conformidade com as prescrições da *FAO/OMS*, lei brasileira Nº 8.918 de Julho de 1994, *FSSC 22000*, no que diz respeito às características e classificações avaliadas.

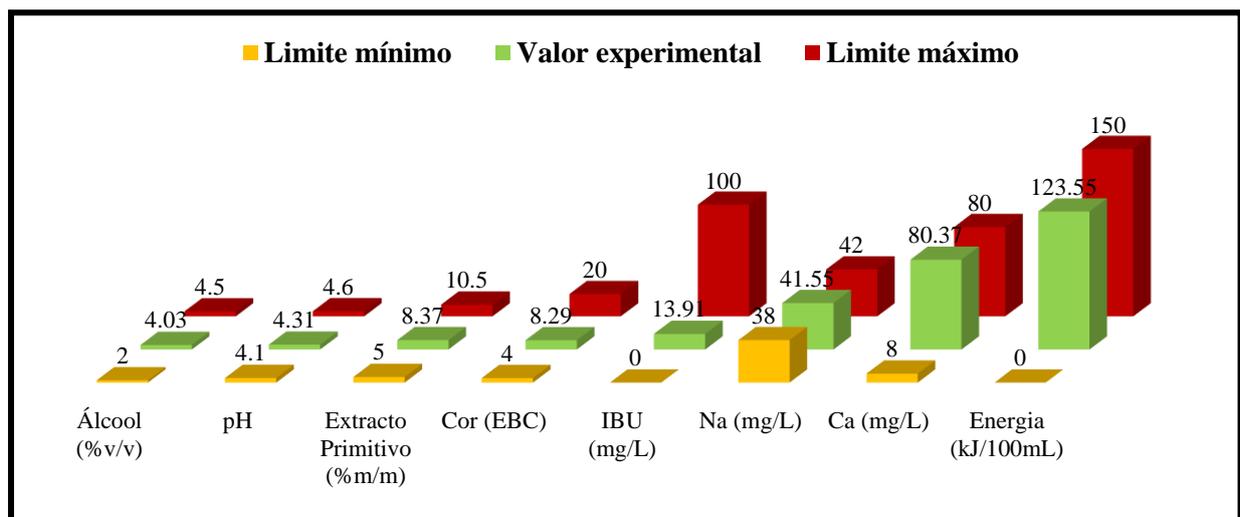


Figura 23: Comparação dos resultados experimentais com o estabelecido pelas legislações alimentares.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises realizadas nos fabricos resultaram nos seguintes valores para os parâmetros de cor, *IBU*, pH, Ca e Na respectivamente: 13.14 ± 1.55 EBC, 40.02 ± 2.01 mg/L, 5.14 ± 0.01 , 88.80 ± 2.95 mg/L, e 42.74 ± 1.57 mg/L. Para a cerveja, analisou-se a cor, *IBU*, pH, Ca, Na, extracto primitivo, energia e etanol tendo se obtido os seguintes valores respectivamente: 8.29 ± 0.75 EBC, 13.91 ± 0.59 mg/L, 4.31 ± 0.02 , 80.37 ± 2.67 mg/L, 41.55 ± 1.62 mg/L, $8.37 \pm 0.24\%$, 123.55 ± 3.78 kJ/100mL e $4.03 \pm 0.10\%$ V/V.

A comparação dos resultados analíticos dos parâmetros analisados com os padrões estabelecidos pelas legislações, (FAO/OMS, lei brasileira N° 8.918 de 14 de Julho de 1994 e *FSSC 22000*) para esta classe de cervejas, indica que a Castle Lite está em conformidade com essas normas. Portanto a Castle Lite é uma cerveja *lager*, leve e *light* com baixo teor calórico e concentração de carboidratos não fermentados, conforme as legislações do fabricante.

A cerveja Castle Lite demonstra um índice de amargor baixo, sendo inferior a 20 mg/L, uma característica distintiva das cervejas leves. Em termos de coloração, é uma cerveja clara conforme a lei brasileira N° 8.918 de 14 de Julho de 1994.

Para estudos posteriores, recomenda-se a análise microbiológica e sensorial desta cerveja. Recomenda-se também, a verificação da conformidade de outras marcas de cervejas e produtos alimentares em geral com as legislações alimentares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) AB-InBev (Anheuser-Busch InBev). (2016). *Anheuser-Busch InBev announces completion of combination with SABMiller*. Acedido em: 09 de Dezembro de 2022, em: https://www.ab-inbev.com/content/dam/universaltemplate/ab-inbev/investors/releases/10October2016/Announcement_of_Completion_of_the_Belgian_Merger.pdf;
- 2) Afonso, J., & Rosa, N. (2015). A Química da Cerveja. *Química e sociedade*. 37: 98–105. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>;
- 3) Akpoghelie, P. O., Edo, G. I., & Akhayere, E. (2022). Proximate and nutritional composition of beer produced from malted sorghum blended with yellow cassava. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 45. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102535>;
- 4) Altino, N. (2015). Operações unitárias aplicadas na produção da cerveja artesanal. *Cenar*. 1: 1–4;
- 5) Alves, M. (2021). *Efeitos Nocivos Para a Saúde De Alimentos Adulterados Para Consumo Humano*. Instituto Universitário Egas Moniz;
- 6) American Society of Brewing Chemists. (2017). *Manual analysis methods for the brewery industry*. 14th edition. St. Paul, U.S.A;
- 7) Amri, B. (2016). Effects of gibberellic acid on the process of organic reserve mobilization in barley grains germinated in the presence of cadmium and molybdenum. *South African journal of botany*. 106: 35–40;
- 8) Andrade, L., Lima, B., & Meirelles, A. (2016). Avaliação da rotulagem e qualidade de diferentes marcas de cerveja tipo pilsen. *Revista Interdisciplinar*. 9: 49–56;
- 9) Aquarone, E., Borzani, W., & Lima, U. (2001). *Biotecnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos*. 2^a edição. Vol. 4. São Paulo:
- 10) Atkins, P. W. (2003). *Fundamentos de Físico-Químico*. 3^a edição. gen LTC. São Paulo;
- 11) Bamforth, W. (2002). Nutritional aspects of beer. *Nutrition Research*. 22: 227–237;
- 12) Bortoli, S. (2013). Leveduras e produção de cervejas. *Bioenergia em revista: diálogos*. 3: 45–58;
- 13) Boulton, C., & Quain, D. (2006). *Brewing yeast and fermentation*. Blackwell science Ltd. Oxford, U.K;
- 14) Briggs, E. (2004). *Brewing: Science and practice*. CRC Press. New York;

- 15) Caballero, I., Blanco, C. A., & Porras, M. (2012). Bitterness and loss of beer quality during storage. *Trends in food science and technology*. 26: 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.01.001>;
- 16) Carvalho, D., Correia, E., Lopes, L., & Guido, L. (2014). Further insights into the role of melanoidins on the antioxidant potential of barley malt. *Food Chemistry*. 160: 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.074>;
- 17) Carvalho, G. (2007). Produção da cerveja. *REDETEC- Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro*;
- 18) Carvalho, S., & Zambiasi, C. (2011). Avaliação do processo fermentativo da cerveja pilsen pelo uso de diferentes concentrações de *Saccharomyces cerevisiae*. *Alimentação e Nutrição*. 22: 351–357;
- 19) CDM (Cervejas de Moçambique). (2015). *Relatório e contas*. Acedido em: 09 de Dezembro de 2022, em: <https://cdm.co.mz/relatorio-e-contas/>
- 20) CDM (Cervejas de Moçambique). (2021). *Relatório e contas*. Acedido em: 09 de Dezembro de 2022, em: <https://cdm.co.mz/relatorio-e-contas/>
- 21) Clayden, J., Greeves, N., & Warren, S. (2012). *Organic Chemistry*. 2nd edition. Vol. 4. Oxford University Press. Oxford, UK;
- 22) Cox, M. e Nelson, D. (2014). *Princípios de bioquímica de Lehninger*. 6^a edição. Artmed. Porto alegre;
- 23) D'Avila, R., Luvielmo, M., Mendonça, C. R., & Jantzen, M. (2012). Adjuntos utilizados para produção de cerveja: características e aplicações. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*. 8(2): 60–68. <https://doi.org/10.4013/ete.2012.82.03>;
- 24) Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2010). *Química de alimentos de Fennema*. 4^a edição. Artmed. Porto Alegre;
- 25) Daneri-castro, S. N., Svensson, B., & Roberts, T. H. (2016). Barley germination: Spatio-temporal considerations for designing and interpreting «omics» experiments. *Journal of Cereal Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.012>
- 26) Dasari, S., & Kölling, R. (2011). Cytosolic localization of acetohydroxyacid synthase Ilv2 and its impact on diacetyl formation during beer fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*. 77(3): 727–731. <https://doi.org/10.1128/AEM.01579-10>
- 27) Dinslaken, D. (2015). *Manual do cervejeiro caseiro: um guia completo para iniciantes*. Concerveja. São Paulo;
- 28) Dunn, R. (2006). Packing technology. *Handbook of brewing*. 2nd edition. CRC Press. New York;

- 29) Durand, G. A., Corazza, M. L., Blanco, A. M., & Corazza, F. C. (2009). Dynamic optimization of the mashing process. *Food Control*. 20(12): 1127–1140. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.03.004>;
- 30) FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), & WHO (World Health Organization). (2021). General Standard for Food Additives. *Codex Stan*. 192–1995;
- 31) FSSC 22000. (2019). *Documento de orientação: Mitigação de fraude alimentar*. Acedido em: 17 de Março de 2023, em: https://www.fssc.com/wp-content/uploads/19.0528-Guidance_Food-Fraud-Mitigation_Version-5-PORT.pdf;
- 32) Gama, E., & Matos, R. (2019). Cerveja: composição e métodos de determinação dos constituintes inorgânicos e orgânicos. *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia Almenara/MG*. <http://recital.almenara.ifnmg.edu.br/index.php/recital>;
- 33) Gasiński, A., Kawa-Rygielska, J., Paszkot, J., Pietrzak, W., Śniegowska, J., & Szumny, A. (2022). Second life of hops: Analysis of beer hopped with hop pellets previously used to dry-hop a beer, *LWT. Food science and technology*. 159: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113186>;
- 34) Gassara, F., Antzak, C., Ajila, C. M., Sarma, S. J., Brar, S. K., & Verma, M. (2015). Chitin and chitosan as natural flocculants for beer clarification. *Journal of Food Engineering*. 166: 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.028>;
- 35) GFSI (Global Food Safety Initiative). (2017). *Benchmarking requirements*. 7th edition. Paris;
- 36) Goulart, R. (2011). Metodologias para utilização de resíduos da terra diatomácea proveniente da filtração e clarificação da cerveja. *Química nova*. 34: 625–629;
- 37) Hege, M., Jung, F., Sellmann, C., Jin, C., Dipl-ing, D., & Hellerbrand, C Bergheim, I. (2018). An iso- α -acid-rich extract from hops (*Humulus lupulus*) attenuates acute alcohol-induced liver steatosis in mice. *Nutrition*. 45: 68–75;
- 38) Hiralal, L., Olaniran, A. O., & Pillay, B. (2014). Aroma-active ester profile of ale beer produced under different fermentation and nutritional conditions. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 117(1): 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2013.06.002>;
- 39) Irwin, R. (2014). Castle Lite : A brand narrative of imagined communities and included consumers. *Comminicare*. 33: 40–53;
- 40) Jaskula, B., Kafarski, P., Aerts, G., & Cooman, L. (2008). *A Kinetic Study on the Isomerization of Hop alpha-Acids*. 56: 6408–6415;

- 41) Jesus, L. S. De. (2022). *Perfil químico de diferentes estilos de cerveja e seus reflexos nas características: Sensorial, nutricional e segurança alimentar*. Universidade Federal de Goiás;
- 42) Jones, B. L. (2005). Endoproteases of barley and malt. *Journal of Cereal Science*. 42(2): 139–156. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.03.007>;
- 43) Kugelmeier, L. (2013). Avaliação da brassagem e fermentação na produção da cerveja pilsen em microcervejeiras. *Biochemistry and biotechnology reports*. 2: 220–223;
- 44) Kuntz, R. J., & Bamforth, C. W. (2007). Time course for the development of enzymes in barley. *Journal of the Institute of Brewing*. 113(2): 196–205. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2007.tb00276.x>;
- 45) Kunze, W. (2006). La cerveza terminada. *Tecnología para cerveceros y malteros*. VLB Berlín. p. 826-885;
- 46) Lamb, J. J., Holick, M. F., Lerman, R. H., Konda, V. R., Minich, D. M., Desai, A., Chen, T. C., Austin, M., Kornberg, J., Chang, J. L., Hsi, A., Bland, J. S., & Tripp, M. L. (2011). Nutritional supplementation of hop rho iso-alpha acids, berberine, vitamin D3, and vitamin K1 produces a favourable bone biomarker profile supporting healthy bone metabolism in postmenopausal women with metabolic syndrome. *Nutrition Research*. 31(5): 347–355; <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.03.016>;
- 47) Lei N° 8.918 de 14 de Julho. (1994). *Agência nacional de vigilância sanitária*. Brasil;
- 48) Lilandoma, T. (2012). *Estudo dos parâmetros físico-químicos do mosto e produto acabado da cerveja 2M e sua influência no estudo dos parâmetros físico-químicos do mosto e produto acabado da cerveja 2M e a sua influência na qualidade da cerveja*. Universidade Eduardo Mondlane;
- 49) Lima, U., Aquarone, E., Borzani, W. e Schdmill, W. (2016). *Biotecnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos*. 7ª edição. Edgar Blucher Ltda. Vol. 3. São Paulo;
- 50) Liu, S. Q. (2015). Impact of yeast and bacteria on beer appearance and flavour. Em *Brewing Microbiology: Managing Microbes, Ensuring Quality and Valorising Waste*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-331-7.00017-4>;
- 51) Liu, Z., Wang, L., & Liu, Y. (2017). Analyzing differences in freshness of SA-1 hops by headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry combined with chemometrics. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 75(3): 193–200. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3238-01>;
- 52) Morado, R. (2009). *Larousse da cerveja: A história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo*. Alaúde. São Paulo;

- 53) Munroe, H. (2006). Fermentation. *handbook of brewing*. 7th edition. CRC Press. New York;
- 54) Nunes, J. (2021). *Avaliação dos Parâmetros de Qualidade da Produção de cerveja*. Universidade Federal de Mato Grosso;
- 55) Olaniran, A., Maharaj, Y., & Pillay, B. (2011). *Effects of fermentation temperature on the composition of beer volatile compounds, organoleptic quality and spent yeast density*. 14. <https://doi.org/10.2225/vol14-issue2-fulltext-5>;
- 56) Oliveira, M., & Terra, C. (2021). *Análise de dados sobre fraudes e alertas de fraudes em alimentos noticiados pela Comissão Europeia em 2020 e suas comparações com as ocorrências de 2019*. Acedido em: 28 de Maio de 2023, em: <https://higienealimentar.com.br/analise-dados-sobre-fraudes-e-alertas-de-fraudes-em-alimentos-noticiados-pela-comissao-europeia-em-2020-e-suas-comparacoes-com-as-ocorrencias-de-2019>;
- 57) Oliver, G. (2011). *The Oxford companion to beer*. Oxford University Press, Inc. New York;
- 58) Olšovská, J., Štěrba, K., Vrzal, T., & Čejka, P. (2019). Nutritional composition and energy value of different types of beer and cider. *Kvasny prumysl*. 65: 32–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.18832/kp2019.65.32>;
- 59) OMS. (2021). *Dia mundial da Segurança dos Alimentos*. Acedido em: 28 de Maio de 2023, em: <https://www.paho.org/pt/noticias/7-6-2021-dia-mundial-da-seguranca-dos-alimentos-2021-panaftosa-impulsa-cooperaca-tecnic>;
- 60) Palmer, J. (2006). *How to Brew: Everything You Need to Know to Brew Beer Right the First Time* (Paperback). Brewer publications. Colorado;
- 61) Postulkova, M., Riveros-Galan, D., Cordova-Agiular, K., Zitkova, K., Verachtert, H., Derdelinckx, G., Dostalek, P., Ruzicka, M. C., & Branyik, T. (2016). Technological possibilities to prevent and suppress primary gushing of beer. *Trends in Food Science and Technology*. 49: 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.006>;
- 62) Priest, G., & Stewart, G. (2006). *Handbook of brewing*. 2nd edition. CRC Press. New York;
- 63) Rebello, F. (2009). Produção de cerveja. *Revista agrogeambiental*. 145–155;
- 64) Rodrigues, M., Morais, J., & De Castro, J. (2015). *Jornadas de lúpulo e cerveja: Novas oportunidades de negócio*. Instituto Politécnico de Bragança;
- 65) Schönberger, C. (2012). Hopfenstopfen-gut gestopft ist halb gewonnen. *Brauwelt*. 10: 251–254;
- 66) Schuina, G. (2018). *Utilização de plantas amargas em substituição ao lúpulo na produção da cerveja artesanal tipo American lager*. Universidade Estadual Paulista;

- 67) Silva, P. H. A. da, & Faria, F. C. de. (2008). Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 28(4): 902–906. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000400021>;
- 68) Spies, J. (2018). *Estudo sobre a isomerização de alfa-ácidos de lúpulo*. Universidade do Vale do Taquari;
- 69) Steensels, J., Daenen, L., Malcorps, P., Derdelinckx, G., Verachtert, H., & Verstrepen, K. J. (2015). Brettanomyces yeasts - From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. *International Journal of Food Microbiology*. 206: 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.005>
- 70) Supelco® Analytical Products. (2021). *Analysis Methods for the Brewery Industry*. Acedido em: 17 de Abril de 2023. Em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.sigmaaldrich.com/deepweb/assets/sigmaaldrich/marketing/global/documents/347/924/manual-analysis-methods-brewery-industry-prove.pdf>;
- 71) Terpinc, P., Cigić, B., Polak, T., Hribar, J., & Požrl, T. (2016). LC-MS analysis of phenolic compounds and antioxidant activity of buckwheat at different stages of malting. *Food Chemistry*. 210: 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.030>;
- 72) Vieira, A. (2015). *Controle de qualidade físico-químico de cerveja de uma indústria paraense*. Universidade Federal do Pará;
- 73) Xiao, Z., Storms, R., & Tsang, A. (2006). A quantitative starch-iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities. *Analytical Biochemistry*, 351(1): 146–148. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2006.01.036>.

ANEXOS

A.1. Tabela de ANOVA de factor único de pH na análise de mosto

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	15.4500	5.1500	0.0001		
04.12.22	3	15.4200	5.1400	0.0001		
07.12.22	3	15.3800	5.1267	0.0002		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0.0008	2	0.0004	2.8461	0.1351	5.1433
Dentro de grupos	0.0009	6	0.0001			
Total	0.0017	8				

A.2. Tabela de ANOVA de factor único de cor na análise de mosto

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	39.8100	13.2700	13.7289		
04.12.22	3	40.9800	13.6600	0.5977		
07.12.22	3	37.4900	12.4967	0.9010		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	2.1035	2	1.0517	0.2072	0.8184	5.1433
Dentro de grupos	30.4553	6	5.0759			
Total	32.5588	8				

A.3. Tabela de ANOVA de factor único de *IBU* na análise de mosto

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	105.51	35.17	1.4364		
04.12.22	3	124.41	41.47	1.2427		
07.12.22	3	115.68	38.56	1.6093		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	59.6502	2	29.8251	20.8645	0.0020	5.1433
Dentro de grupos	8.5768	6	1.4295			
Total	68.2270	8				

A.4. Tabela de ANOVA de factor único de *Na* na análise de mosto

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	129.7500	43.2500	9.3412		
04.12.22	3	123.6500	41.21667	1.9621		
07.12.22	3	131.2700	43.7567	0.0024		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	10.8428	2	5.4214	1.4386	0.3088	5.1433
Dentro de grupos	22.6115	6	3.7685			
Total	33.4543	8				

A.5. Tabela de ANOVA de factor único de Ca na análise de mosto

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	264.8630	88.2877	42.1473		
04.12.22	3	268.6430	89.5477	14.6493		
07.12.22	3	265.7330	88.5777	0.7043		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	2.6126	2	1.3063	0.0682	0.9348	5.1433
Dentro de grupos	115.0018	6	19.1669			
Total	117.6144	8				

A.6. Tabela de ANOVA de factor único de pH na análise de cerveja

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
15.12.22	3	12.9600	4.3200	0.0003		
22.12.22	3	12.9000	4.3000	1E-04		
29.12.22	3	12.9200	4.3066	0.0010		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0.0006	2	0.0003	0.6512	0.5547	5.1432
Dentro de grupos	0.0029	6	0.0005			
Total	0.0035	8				

A.7. Tabela de ANOVA de factor único de cor na análise de cerveja

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
15.12.22	3	25.1700	8.3900	0.0364		
22.12.22	3	24.5400	8.1800	0.0217		
29.12.22	3	20.7300	6.9100	0.0813		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	3.8474	2	1.9237	41.3996	0.0003	5.1432
Dentro de grupos	0.2788	6	0.0465			
Total	4.1262	8				

A.8. Tabela de ANOVA de factor único de *IBU* na análise de cerveja

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
15.12.22	3	41.7300	13.9100	0.0039		
22.12.22	3	41.7200	13.9066	0.0646		
29.12.22	3	44.6400	14.8800	0.2653		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	1.8882	2	0.9441	8.48457	0.0178	5.1432
Dentro de grupos	0.6676	6	0.1112			
Total	2.5559	8				

A.9. Tabela de ANOVA de factor único de Na na análise de cerveja

ANOVA: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
15.12.22	3	126.4000	42.1333	10.3233		
22.12.22	3	121.5000	40.5000	0.7900		
29.12.22	3	126.0800	42.0266	4.0881		
ANOVA						
Fonte de variação	S	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	5.0098	2	2.5049	0.4943	0.6328	5.1432
Dentro de grupos	30.4029	6	5.0671			
Total	35.4128	8				

A.10. Tabela de ANOVA de factor único de E (kJ/100mL) na análise de cerveja

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	374.8100	124.9367	55.0825		
04.12.22	3	366.1000	122.0333	31.0454		
07.12.22	3	371.0000	123.6667	3.7361		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	12.71002	2	6.3550	0.2121	0.8146	5.1432
Dentro de grupos	179.7282	6	29.9547			
Total	192.4382	8				

A.11. Tabela de ANOVA de factor único de Cálcio na análise de cerveja

Anova: factor único						
SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	239.718	79.906	20.2027		
04.12.22	3	244.957	81.6523	23.9386		
07.12.22	3	238.684	79.5613	0.30604		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	7.54076	2	3.77038	0.25448	0.78328	5.14325
Dentro de grupos	88.8946	6	14.8158			
Total	96.4354	8				

A.12. Tabela de ANOVA de factor único de extracto na análise de cerveja

Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	25.3900	8.4633	0.2332		
04.12.22	3	24.8500	8.2833	0.1304		
07.12.22	3	25.1200	8.3733	0.0146		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0.0486	2	0.0243	0.1927	0.8296	5.1432
Dentro de grupos	0.7566	6	0.1261			
Total	0.8052	8				

A.13. Tabela de ANOVA de factor único de etanol na análise de cerveja

SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
26.11.22	3	12.300	4.1000	0.0364		
04.12.22	3	12.0500	4.0166	0.0170		
07.12.22	3	11.8800	3.9600	0.0021		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0.0297	2	0.0148	0.8037	0.4906	5.1432
Dentro de grupos	0.1111	6	0.0185			
Total	0.1408	8				

Teste de Tukey

$$T = q_{(c,n-c) \times \sqrt{\frac{QMR}{nR}}} \text{ (Equação 1)}$$

Legenda: n – número total de amostras; c – número de tratamentos; QMR – Quadrado médio residual; nR – número de réplicas; q – valor da amplitude total estudentizada (tabelado).

A.14: Tabela de Teste de de Tukey para valores de *IBU* na análise de mosto

	IBU		IBU
c - número de tratamentos	3	T	2.9946
		Tratamentos	Diferença das médias
n - total de amostras	9	26.11.22 vs 04.12.22	6.3000
QMR - quadrado médio residual	1.4290	26.11.22 vs 07.12.22	3.3900
q- valor tabelado (3, 6 a 95%)	4.3390	04.12.22 vs 07.12.22	2.9100
nR - número de réplicas	3		

A.15. Tabela de teste de Tukey para valores de *IBU* e coloração na análise de cerveja

	IBU	Cor		IBU	Cor
c - número de tratamentos	3	3	T	0.8346	0.5400
			Tratamentos	Diferença das médias	
n - total de amostras	9	9	15.12.22 vs 22.12.22	0.0033	0.2100
QMR - quadrado médio residual	0.1111	0.0464	15.12.22 vs 29.12.22	0.9700	1.4800
q- valor tabelado (3, 6 a 95%)	4.3390	4.3390	22.12.22 vs 29.12.22	0.9733	1.2700
nR - número de réplicas	3	3			