



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS**

VITÓRIA MORGANNA DE SOUZA FREITAS

**AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS PRODUZIDO POR DIFERENTES
LEVEDURAS PARA ELABORAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS**

PETROLINA-PE

2023

VITÓRIA MORGANNA DE SOUZA FREITAS

**AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS PRODUZIDO POR DIFERENTES
LEVEDURAS PARA ELABORAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Tecnologia em Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Petrolina, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos em.

Orientador: Prof. Dr. Arão Cardoso Viana
Coorientador: Prof. Dr. Marcos dos Santos Lima

PETROLINA – PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F862 Freitas, Vitória Morganna de Souza.

AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS PRODUZIDO POR DIFERENTES LEVEDURAS PARA ELABORAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS / Vitória Morganna de Souza Freitas. - Petrolina, 2023.
40 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Arão Cardoso Viana.
Coorientação: Dr. Marcos dos Santos Lima.

1. Bebidas Fermentadas. 2. Blend Ale. 3. Aromas. 4. Temperatura de fermentação. I. Título.

CDD 663.3

VITORIA MORGANNA DE SOUZA FREITAS

**AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS PRODUZIDOS POR DIFERENTES
LEVEDURAS PARA ELABORAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS**

FOLHA DE APROVAÇÃO

APROVADA EM 08 DE SETEMBRO DE 2023

**Arão Cardoso
Viana**

Assinado digitalmente por Arão Cardoso
Viana
ID: 0U=IFPernambucoPE, O=Instituto Federal do
Pernambuco, CN=Arão Cardoso
Viana, E=arao.viana@ifpernambuco-pe.edu.br
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização:
Data: 2023.12.13 07:15:37-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 2023.3.0

Dr. Arão Cardoso Viana

**Ana Julia de Brito
Araujo
Carvalho:01859162525**

Assinado de forma digital por Ana
Julia de Brito Araujo
Carvalho:01859162525
Dados: 2023.12.13 10:41:52 -03'00'

Dra. Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho



Documento assinado digitalmente
SILVANA BELÉM DE OLIVEIRA VILAR
Data: 23/12/2023 07:06:18-0300
Verifique em <https://validar.is.gov.br>

Dra. Silvana Belém de Oliveira Vilar

**Marcelo Eduardo Alves
Olinda de
Souza:03258019401**

Assinado de forma digital por
Marcelo Eduardo Alves Olinda de
Souza:03258019401
Dados: 2023.12.13 11:19:29 -03'00'

Dr. Marcelo Eduardo Alves Olinda de Souza
(Coordenador do curso de Tecnologia em Alimentos)

DEDICATÓRIA

Dedico a Deus, por ter me sustentado em todos os momentos durante toda minha existência.

A minha família por todo o apoio e por nunca soltarem a minha mão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dádiva da vida. Por fazer com que esse sonho se tornasse realidade.

A minha família por mesmo com todas as dificuldades que passamos sempre me apoiaram em todas minhas decisões.

Aos meus pais Adeildo e Madalena, por serem responsáveis pelo ser humano que sou hoje e por estar ao meu lado me apoiando sempre.

Aos meus irmãos Leticia e Pedro por caminharem ao meu lado durante todo esse tempo em especial a minha irmã por ser minha expiração e me fazer escolher seguir o mesmo ramo profissional.

Ao meu professor e orientador Prof. Dr. Arão Cardoso Viana pelos ensinamentos passados e por toda paciência, suporte e por acreditar no meu potencial na execução do trabalho. Gratidão

As minhas colegas de curso, Júlia, Anne e Cristina por dividirem comigo o peso desse processo.

Ao professor Marcos Lima e professora Ana Júlia pelos ensinamentos e conselhos passados.

As meninas do laboratório de águas e instrumental pela parceria.

Aos professores do curso, pois tiveram um papel fundamental na minha formação acadêmica.

Gratidão.

E ao IF Sertão-PE pela oportunidade de fazer parte dessa instituição.

“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por omitir.”

Augusto Cury

RESUMO

A produção de cervejas artesanais vem crescendo conforme o passar dos anos, devido a sua facilidade para fabricação. As cervejas são classificadas conforme seu estilo, se diferenciando pela sua aparência, sabor e principalmente o aroma. Devido a escolha dos insumos e das leveduras que são utilizadas na elaboração, estas não são apenas responsáveis pela formação do álcool, mas também pela produção dos compostos voláteis os quais podem ser desejáveis do estilo ou não. O objetivo deste trabalho foi analisar qual o melhor procedimento fermentativo e a identificação dos compostos voláteis de três tipos diferentes de leveduras comerciais, T-58, M-15 e US-05 em duas temperaturas de 18°C e 22°C durante a fermentação do estilo da cerveja *Blonde Ale*. Para a realização do estudo dos compostos produzidos por diferentes leveduras, foram utilizados análises de instrumentação e condições cromatográficas para a identificação dos compostos orgânicos voláteis por CG-EM *HEADSPACE*, e Análises Físico-químicas clássicas (sólidos solúveis, pH, densidade, cor, acidez titulável e teor alcoólico), conforme métodos do Instituto Adolfo Lutz. Os parâmetros físico-químicos foram analisados quanto às diferenças significativas entre seus resultados. Nas análises da cromatografia gasosa as três leveduras obtiveram uma boa produção de aromas específicos desejáveis. A levedura M-15 na temperatura de 22°C obteve o maior número de substâncias quando comparada com as demais, tendo duas substâncias majoritárias a 1-Butanol 3-methyl e 1-Butanol, 3-metil-, acetato como também apresentaram ácido octanóico/éster etílico acima de 3%, tendo essa levedura como potencial a ser utilizada na produção de cervejas artesanais desse estilo. Desta forma, é possível verificar que a escolha da levedura e sua temperatura de fermentação influenciam no perfil aromático da cerveja estudada, sendo fator primordial seguir os parâmetros de produção para garantir a qualidade final do produto, como também a conformidade dos descritores aromáticos do estilo da cerveja.

Palavras-chave: Blond Ale ; Aromas ; Temperatura de fermentação.

ABSTRACT

The production of craft beers has been growing over the years, due to its ease of manufacturing. Beers are classified according to their style, differentiating themselves by their appearance, flavor and especially aroma. Due to the choice of inputs and yeasts used in the preparation, these are not only responsible for the formation of alcohol, but also for the production of volatile compounds which may or may not be desirable for the style. The objective of this work was to analyze the best fermentation procedure and identify the volatile compounds of three different types of commercial yeast, T-58, M-15 and US-05 at two temperatures of 18°C and 22°C during fermentation. Blonde Ale beer style. To carry out the study of compounds produced by different yeasts, instrumentation analyzes, and chromatographic conditions were used to identify volatile organic compounds by GC-EM HEADSPACE, and classical physical-chemical analyzes (soluble solids, pH, density, color, acidity titratable and alcohol content), according to methods from the Adolfo Lutz Institute. The physicochemical parameters were analyzed for significant differences between their results. In gas chromatography analyses, the three yeasts obtained a good production of desirable specific aromas. The M-15 yeast at a temperature of 22°C obtained the highest number of substances when compared to the others, having two major substances, 1-Butanol 3-methyl and 1-Butanol, 3-methyl-, acetate, as well as octanoic acid. Ethyl ester above 3%, with this yeast potentially being used in the production of craft beers of this style. In this way, it is possible to verify that the choice of yeast and its fermentation temperature influence the aromatic profile of the beer studied, with it being a key factor to follow the production parameters to guarantee the final quality of the product, as well as compliance with the aromatic descriptors of the beer style. beer.

Keywords: Blond Ale; Aromas; Fermentation temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Erlenmeyers com mosto inoculado.....	32
Figura 2. Amostras acondicionadas em Vials.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análises físico-químicas das cervejas fermentadas com leveduras em diferentes temperaturas.....	35
Tabela 2. Análises físico-químicas das cervejas fermentadas com três tipos diferentes de levedura na temperatura 18°C.....	36
Tabela 3. Análises físico-químicas das cervejas fermentadas com três tipos diferentes de levedura na temperatura 22°C.....	36
Tabela 4. Compostos voláteis identificados no mosto e na cerveja com as duas temperaturas.....	40
Tabela 5. Compostos voláteis majoritários identificados no mosto e na cerveja com as duas temperaturas.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
BJCP	Beer Judge Certification Program
VOC's	Volatile Organic Compounds

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 GERAL.....	16
2.2 ESPECÍFICOS.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 ORIGEM DA CERVEJA.....	17
3.2 BLONDE ALE.....	17
3.3. CERVEJA ARTESANAL.....	17
3.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA.....	18
3.5 COMPOSTOS VOLÁTEIS DA CERVEJA	19
REFERENCIAS.....	21
CAPÍTULO I	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 MATERIA PRIMA.....	27
4.2 PRODUÇÃO DO MOSTO.....	27
4.3 FERMENTAÇÃO DA CERVEJA.....	27
4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	28
4.5 ANÁLISE DE COMPOSTOS VOLATEIS	29
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICAS.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	31
5.2 ANÁLISES DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS.....	36
6 CONCLUSÃO.....	40
7 REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o decreto nº 6.871, de 04 de junho de 2009, cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo (BRASIL, 2009). O uso da bebida alcoólica esteve presente ao longo da história, na maioria das festividades, e é usado pela sociedade desde o início dos tempos (ESCOHOTADO, 1996).

O processo de produção de cerveja representa um exemplo característico de biotecnologia tradicional ou antiga, devido à sua longa história. Não obstante, grandes avanços neste processo já foram realizados e atualmente a indústria cervejeira utiliza uma série de inovações técnicas, bioquímicas, microbiológicas e genéticas (MELNIKOV, 2007). A cerveja é produzida utilizando produtos naturais, sendo considerada uma bebida versátil, fazendo com que seja adequada a utilização de grande variedade de ingredientes. Seu preparo não se baseia apenas na mistura desses componentes, o processo envolve uma série de reações químicas contendo muitas variáveis importantes (CARDOSO, et al, 2022).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de cerveja artesanal vem crescendo exponencialmente ao longo dos anos. Só no ano de 2019, foram criadas mais de 320 novas cervejarias no Brasil, representando uma taxa média de 19,6% de crescimento por ano nos últimos vinte anos sendo que 26,6% nos últimos 10 anos e 36,4% no período de 5 anos. Essas cervejas produzidas de forma mais caseira, buscam diferentes inovações para sensações de aroma, textura e sabor as populações que as consomem. As regiões Sudeste e Sul do Brasil concentram cerca de 90% das cervejarias artesanais, todavia, hoje praticamente todos estados brasileiros possuem números relativos a produção da bebida. Ademais, mesmo com o setor em alta, as cervejarias artesanais ainda não alcançaram 1% do mercado brasileiro de cerveja (BRESSIANI, 2017; BRASIL, 2020). O Brasil é considerado como o terceiro país que possui o número maior de consumidores de cerveja no mundo (Macedo, 2021).

Entre as categorias de cervejas, a do estilo ales são as mais antigas, sendo produzidas desde a antiguidade. O grupo das Ales são constituídos de cervejas de alta fermentação, cuja graduação alcoólica é geralmente mais elevada do que a das Lagers. Neste caso, as leveduras envolvidas são *Saccharomyces cerevisiae*. Esse tipo de fermentação deve ser conduzido sob temperaturas de 14 a 25°C, produzindo uma bebida com coloração acobrada, de sabor forte e ácido e, como já foi dito

anteriormente, sendo esse grupo as mais consumidas pelos adeptos das cervejas artesanais, segundo Morado (2009).

Segundo Ferreira et al. (2018) o consumo e elaboração de cervejas artesanais no País são destinados a consumidores mais experientes e exigentes em relação a questão de qualidade sensorial, sendo que o produto entregue é considerado diferenciado. Um dos fatores primordiais para obtenção uma cerveja com bons atributos organolépticos é a correta condução da etapa de fermentação do mosto, que segundo Bader et al. (2010), o crescimento do microrganismo envolvido na fermentação favorece mudanças no aroma, sabor e textura da matéria-prima. Compostos como álcoois superiores, ésteres, aldeídos, cetonas, compostos de enxofre e ácidos orgânicos fazem parte da enorme gama de compostos sensoriais excretados pelas leveduras (ERTEN et al., 2007).

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Avaliar o processo fermentativo para produção dos principais compostos oriundos do processo fermentativo para elaboração da cerveja tipo *Bonde ale*.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar o processo fermentativo da cerveja do tipo *Blonde ale* com a utilização de três leveduras comerciais e duas temperaturas de fermentação.
- Quantificar e caracterizar as amostras analisadas através de análises físico-químicas clássicas
- Avaliação das principais substâncias voláteis produzidas pelo processo fermentativo por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas;
- Avaliar o processo fermentativo de três tipos de leveduras comerciais para elaboração de cerveja tipo *Blonde Ale*
- Avaliar os compostos de qualidade da cerveja durante o período de vida-de-prateleira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ORIGEM DA CERVEJA

Quando falamos da origem da cerveja artesanal, acredita-se que seja uma bebida existente há muitos séculos, todavia não há provas ou consenso sobre seu surgimento. Alguns registros datados de que pães fermentados em água que deram origem as primeiras cervejas (BELTRAMELLI, 2012). De acordo com Limberger (2013), no ano de 1830, alguns imigrantes começaram uma produção de cerveja artesanal voltada apenas para o consumo familiar, sendo adaptado às suas preferências de paladar em particular. No final do século XIX, houve um aumento de impostos, dificultando a importação da bebida. Então, o consumo ganhou força e começou a produção em proporções maiores gerando empregos e obtendo uma grande parcela da população adepta a este estilo de cerveja.

3.2 BLOND ALE

A cerveja do tipo *blonde ale* (BJCP 18A) pertence à categoria de Pale American Ale, comparável a cervejas do tipo pilsen e lager. Como impressões gerais, destaca-se como estilo introdutório de cerveja artesanal, orientada para o malte, muitas vezes com interesses em notas frutadas, lupuladas, ou de caráter maltado. É uma cerveja bem equilibrada, refrescante e levemente ácida, apresentando aparência clara, espuma branca persistente e amargor discreto. Com relação a estatísticas vitais, geralmente possui gravidade original entre 1,038 e 1,054, gravidade final entre 1,008 e 1,013 e teor alcoólico de 3,8 a 5,5% (BJCP, 2015; lima, 2019).

3.3 CERVEJA ARTESANAL

A legislação brasileira (BRASIL, 2009) definiu como cerveja a bebida ao qual foi obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo de malte de cevada e água cervejeira, por ação de levedura, com adição de lúpulo. A cerveja artesanal é aquela que se pode ser fabricada domesticamente, em pequena quantidade e de maneira simples com utensílios caseiros, que se assemelham aos equipamentos utilizados em grandes indústrias do sistema cervejeiro. O processo

de produção da cerveja artesanal pode ser dividido essencialmente em várias etapas, sendo elas: Moagem, mosturação, recirculação, lavagem, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase (EBLINGER, 2009; PALMER, 2006). A principal diferença entre as cervejas artesanais é que as mesmas se caracterizam por serem feitas com alguma diferenciação quando comparada com as cervejas industriais mais populares: são produzidas em pequena escala, por um processo de fermentação relativamente lento (BREWERS ASSOCIATION, 2013).

Nos últimos anos, a produção de cerveja artesanal teve um aumento considerável na produção brasileira. Alguns dos motivos apresentados como causa, são fatores como hobby de fanáticos pela bebida, a curiosidade pela produção e por acreditar no potencial do negócio. E como não são poucos que o enxergam como uma oportunidade única, a competitividade vem aumentando e vários estilos de cerveja vem sendo criados, no intuito de sobressair os concorrentes e apresentar um produto único para seu consumidor (VALENTE, BRUNA. 2017).

3.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA

No processo de fabricação da cerveja, a primeira etapa se dá pela moagem dos ingredientes, com finalidade de quebra dos grãos de malte, assim expondo o amido do endosperma que se apresenta no seu interior. Essa etapa é de extrema importância, visto que a ação de enzimas atue em todos componentes constituem esse grão. Com a moagem do malte, o mesmo é misturado a tina de mostura com água. Essa mistura é submetida a diferentes temperaturas e em diferentes intervalos de tempos para a solubilidade em água, já que na sua forma natural, os compostos oriundos do malte são insolúveis, pelo processo das ações enzimáticas da protease e da amilase (EBLINGER, 2009; PALMER, 2006)

Posteriormente faz-se a filtração dessa mistura, ao qual tem-se a separação do mosto líquido e do bagaço do malte. Segue-se, então, para o processo de fervura, onde é adicionado o lúpulo, de acordo com cada tipo de cerveja. É na etapa de aquecimento em que se determina a estabilização e características sensoriais da cerveja como aroma, amargor e desenvolvimento de cor. Após a fervura, o mosto é resfriado e segue para a fermentação. A fermentação é a transformação, feita pela levedura, dos açúcares fermentescíveis do mosto em álcool e gás carbônico (ZANATTA, 2017). De acordo com Estevinho (2005) as cervejas são classificadas em dois grupos, sendo: alta (ale) e de baixa (lager) fermentação, onde os sabores e aromas das cervejas podem ser mais suaves e leves. As

cervejas do tipo ale, são fermentadas à temperatura de 15 a 25 °C e a duração da fermentação com período de maturação entre uma e quatro semanas.

Além do álcool e do CO₂, ao longo do processo de fermentação, outros compostos são formados em pequenas quantidades, mas com grande impacto no sabor da cerveja. São produtos secundários do metabolismo da levedura, que podem ter influência positiva e/ou negativa no aroma e sabor das cervejas. Os subprodutos indesejáveis devem ser degradados ou expulsos durante a maturação, etapa de envelhecimento da cerveja. A maturação se inicia após a retirada do fermento.

3.5 COMPOSTOS VOLÁTEIS DAS CERVEJAS

As propriedades organolépticas características da cerveja é uma mistura de componentes voláteis e não voláteis, sendo esses advindos em grande parte das matérias-primas usadas na produção da bebida (KOBAYASHI e SHIOYA, 2008; TSUJI e MIZUNO, 2010). Outros componentes de aroma e sabor são formados durante o processo da fabricação de cerveja e dependem de propriedades tecnológicas aplicadas no processo de fabricação e do metabolismo das leveduras utilizadas na mistura (VERHAGEN, 2010; SMOGROVICOVA e DOMENY, 1999; BRÁNYIK et al., 2008), enquanto outros são formados durante a maturação da cerveja (VANDERHAEGEN et al., 2003, VANDERHAEGEN et al., 2006; VANDERHAEGEN et al., 2007; MALFLIET et al., 2008).

Os compostos voláteis identificados em diferentes tipos de cerveja e associados com seu aroma e sabor pertencem a diferentes grupos químicos, entre eles diversos aromáticos e alifáticos, álcoois superiores, ácidos orgânicos, hidrocarbonetos, ésteres, aldeídos, cetonas, substâncias terpênicas entre outros (SILVA et al., 2008; SMOGROVICOVA e DOMENY, 1999).

Álcoois superiores e o etanol são produzidos durante o processo fermentativo alcoólica contribuindo para o aroma alcoólico característico da cerveja. Entre eles, os de maior abundância são álcoois superiores são n-propanol e o isobutanol, 2-feniletanol, e os álcoois isoamílicos (2-metilbutanol e 3-metil-butanol) (BRÁNYIK et al., 2008). Já os ésteres são caracterizados por atribuir um aroma mais frutado na cerveja (VANDERHAEGEN et al., 2003). Entre os compostos carbonílicos, as categorias presentes na cerveja são aldeídos e cetonas. O acetaldeído é o principal aldeído na cerveja (KOBAYASHI e SHIOYA, 2008; VANDERHAEGEN et al., 2003; VANDERHAEGEN et al., 2007).

Os outros aldeídos que influenciam significativamente no aroma da cerveja podem ser classificados em três grupos: aldeídos de Strecker, aldeídos de Maillard e aldeídos de oxidação de ácidos graxos. O aldeído de Maillard predominante é o furfural (VANDERHAEGEN et al., 2003;

VANDERHAEGEN et al., 2007). Os ácidos carboxílicos geralmente podem contribuir para um sabor mais amargo na cerveja, visto que devido estes compostos atuam na diminuição do pH durante a fermentação (BRÁNYIK, 2008; VERHAGEN, 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria-Prima

Para produção do mosto da cerveja foram usados os maltes Pilsen Pro Brewing, Pale Ale, e Wheat, também foram utilizados o lúpulo East Kent Golding (5,5 % de ácido α), e Halbertau Magnum (13,1 % de ácido α), tendo um mosto com 27,11 IBU (International Bitterness Units). Foram utilizados três fermentos comerciais: Safale US-05 (Fermentis Lesaffre for Beverages, França), T-58 (Fermentis Lesaffre for Beverages, França) e M15 (Mangrove Jack's, Nova Zelândia) como também cascas de laranja desidratadas e gengibre.

4.2 Produção do mosto

Para a produção de 10 litros de mosto foram utilizados os maltes (2,000g Pale Ale), (1,600 Pilsen pro Brewing) e (300g Wheat Le Maltiers) .O mosto foi adicionado na panela automática modelo Brew Home (Brew Beer, São Paulo), foi colocado 8 litros de água para aquecer quando atingiu 40°C foi adicionado o malte partindo a bomba onde foi passando água e regulando a vazão, deixou chegar a 50°C para a parada proteica por 20 minutos e a 67°C para a parada amilase e contou os 60 minutos a 75°C para o *mash out* e contou os 15 minutos, seguindo a filtragem e lavagem do mosto. Logo depois foi feita a fervura e adição do lúpulo de amargor Halbertau Magnum 5 g por 35 minutos, o lúpulo de sabor East Kent Golding 20g por 15 minutos e o lúpulo de aroma East Kent Golding 20g por 1 minuto, adicionando também 8g de casca de laranja desidratada e 6g de gengibre, depois realizou o resfriamento com auxílio do chiler (trocador de calor até 35°C), obtendo uma densidade de 1,046. O mostro foi dividido em erlenmeyers previamente sinalizadas com ácido peracético 200ml do mosto em cada um, acoplado com um airlock e deixado a temperatura de 18°C e 22°C.

4.3 Fermentação da cerveja

O mosto já nos erlenmeyer foi encaminhado ao laboratório de microbiologia do IF Sertão Pernambuco, *campus* Petrolina-PE, para serem colocados nas BOD em temperaturas experimentais diferentes (18 e 22 °C), depois que o mosto esfriou, foi feita a adição das leveduras comerciais utilizadas no experimento. Foi feita a inoculação das leveduras utilizando as referências indicados pelo fabricante, e foram deixadas em temperatura controlada. Os fermentos comerciais e as quantidades utilizadas foram: Safale US-05 (Fermentis Lesaffre for Beverages, França) 0,2g, T-58 (Fermentis Lesaffre for Beverages, França) 0,2g, Empire Ale Yeast M15 (Mangrove Jack's, Nova Zelândia) 0,2g. Depois que ocorreu a fermentação foi realizada o processo de maturação durante 7 dias em temperatura de 5°C. Posteriormente, as amostras foram transferidas para tubos falcons de 50 ml identificados para a realização das análises de cada tratamento. Assim foram formados os seguintes ensaios: mosto; levedura US-05/temperatura 18°C; levedura T-58/temperatura 18°C; levedura M15/temperatura 18°C; levedura US-05/temperatura 22°C; levedura T-58/temperatura 22°C; levedura M15/temperatura 22°C. Cada ensaio teve duas repetições.

Figura 1- Erlenmeyer com mosto inoculado



Fonte: Próprio Autor (2023)

4.4 Análises físico-químicas

As amostras do mosto e das cervejas maturadas foram analisadas quanto aos atributos clássicos: Sólidos Solúveis Totais (°Brix), Potencial Hidrogeniônico (pH),

Densidade, Cor, e acidez titulável. Utilizando métodos indicados pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), cor por método de EBC (2005) e teor alcoólico.

Para a análise de sólidos solúveis totais (°Brix), foi utilizado refratômetro digital, onde foi coletado com o auxílio de uma pipeta de Pasteur amostras de mostro e das cervejas para adicionar no instrumento e realizar a leitura. A verificação do pH foi utilizada no pHmetro de bancada para a leitura. A análise da acidez da acidez titulável foi realizada pelo método de titulação, que consistiu em adicionar 40 mL de água destilada, 10 ml do mosto ou das cervejas e algumas gotas de fenolftaleína, após realizou-se a titulação com NaOH (Hidróxido de Sódio a 0,1N). A densidade foi lida em um densímetro e as temperaturas das amostras foram colhidas para a correção da densidade, com auxílio da calculadora cervejeira. Para analisar a cor das cervejas, foi realizado a leitura da absorbância das amostras, que foram centrifugadas, e lidas em um espectrofotômetro com o comprimento de onda de 430 nm. O valor obtido foi transformado com o auxílio da fórmula de EBC (European Brewing Convention), e o teor alcoólico foi realizado pelo método Ebulliométrico de acordo com Costa (2010).

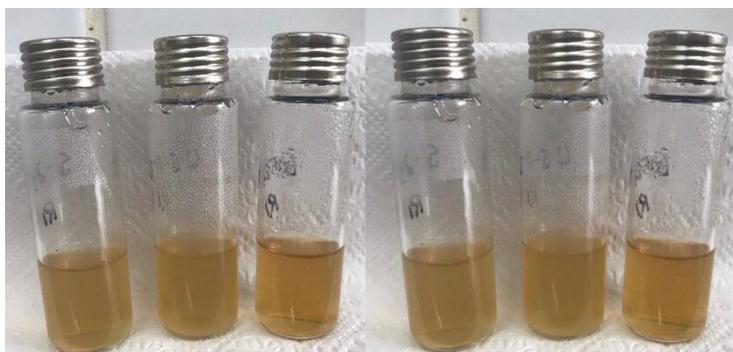
4.5 Análises dos compostos voláteis

Foram utilizados Vials de 20 ml de volume do tipo *HeadSpace* com tampa rosqueada. Foi pipetado um volume de 6,5 mL das amostras de cerveja e adicionadas com 1 g de cloreto de sódio PA. A solução foi incubada em banho seco para aquecimento a temperatura de 75° C. O período total de extração foi de 20 minutos.

Após período de aquecimento, 1 cm³ da fração gasosa da amostra foi coletada com seringa para gases de Hamilton Gastight® modelo 1002 Volume 2,5 mL. A fração gasosa foi imediatamente injetada no Cromatógrafo Gasoso com detector de seletivo de massas. Condições cromatográficas – *HeadSpace*. As análises foram realizadas utilizando um Cromatógrafo gasoso, Agilent Technologies modelo 7820A GC system acoplado a um detector seletivo de massas, Agilent Technologies modelo 5977E MSD. A aquisição e processamento dos dados foram realizadas por meio do Software MassHunter Agilent Technologies™ (Santa Clara, CA, USA). Para a análise cromatográfica, foi usado o modo Split com relação de 3:1 e divisão de fluxo de 15 mL/min a 230 °C no injetor. A coluna empregada foi a Capillary Column CP-WAX 52 CB (30 m x 0.25 mm x 0.25µm)

(Varian, Lake Forest, CA, USA), com fluxo de 1,0 mL/min. A temperatura do forno foi 50 °C (1 min), rampa de aquecimento de 03 °C/min até 240 °C (3 min.) e temperatura máxima do forno em 240°C, com tempo total da corrida de 40 min. A temperatura do detector foi controlada em 230 °C e a fase móvel utilizada foi gás Hélio com grau de pureza 6.0. As corridas foram realizadas no modo SCAN, verificando os tempos de retenção e íons específicos variando de 30 até 300. A identificação das moléculas será complementada através da comparação dos resultados com a biblioteca de espectro Instituto Nacional de Padrões e Tecnologias (NIST). Foram realizadas injeções com a técnica de *Headspace*.

Figura 2. Amostras acondicionadas em Vials



Fonte: próprio autor (2023)

4.6 Análises Estatísticas

Os dados das análises foram submetidos a análise de variância (ANOVA), quando significativa, foi realizada o teste de Tukey. Foram consideradas significativas as variáveis com tolerância de no máximo de $p < 0,05$ para o erro do tipo I, com 202 auxílio do pacote estatístico *ExpDes.pt* no software estatístico R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análises físico-químicas

Os resultados das análises físico-químicas realizados no mosto e nas cervejas fermentadas pelas leveduras US-05, T-58 e M-15 nas temperaturas de fermentação (18°C e 22°C) estão apresentados na tabela 1. Nessa tabela é feita a comparação das cervejas fermentadas com as leveduras nas duas temperaturas de fermentação.

Os comparativos das cervejas fermentadas com as três leveduras em uma mesma temperatura de fermentação estão apresentados nas tabelas 2 e 3, sendo os resultados da fermentação a 18°C estão apresentados na tabela 2 e os resultados da fermentação a 22°C estão na tabela 3.

Tabela 1. Análises físico-químicas das cervejas fermentadas com leveduras em diferentes temperaturas.

Cerveja/ Leveduras	°BRIX	pH	Acidez (g.L ⁻¹)	Cor (EBC)	Densidade (g.cm ⁻³)	Teor alcoólico (%)
MOSTO	12,0	6,12	2,57	40,07	1,046	-
US-05						
18 °C	8,0 ± 0,08a	4,79 ± 0,01a	5,93 ± 0,05a	31,45 ± 0,14a	1,013	4,4
22 °C	6,57 ± 0,02b	4,91 ± 0,00b	5,17 ± 0,03b	29,32 ± 0,82a	1,008	5,0
T-58						
18 °C	6,97 ± 0,03a	4,60 ± 0,08a	4,87 ± 0,10a	29,67 ± 0,45a	1,011	4,7
22 °C	6,53 ± 0,02b	4,70 ± 0,02a	4,23 ± 0,02b	29,86 ± 0,09a	1,012	5,0
M-15						
18 °C	7,30 ± 0,03a	4,86 ± 0,01a	4,30 ± 0,03a	25,56 ± 0,02a	1,012	4,5
22 °C	7,30 ± 0,03a	4,30 ± 0,03b	3,33 ± 0,02b	31,63 ± 0,16b	1,011	4,7

Média ± erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, indicam que não há diferença entre as médias, no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Tabela 2. Análises físico-químicas das cervejas fermentadas com três tipos diferentes de levedura na temperatura 18°C.

Análises físico-químicas	Leveduras			p-valor	CV%
	US-05	T-58	M-15		
°BRIX	8,0 ± 0,08 a	6,97 ± 0,03 b	7,30 ± 0,03 b	0,0010	2,38
pH	4,79 ± 0,01 a	4,60 ± 0,08 a	4,86 ± 0,01 a	0,1934	3,27
Acidez titulável (g.L⁻¹)	5,93 ± 0,05 a	4,87 ± 0,10 b	4,30 ± 0,03 c	0,0002	4,08
Cor (EBC)	31,45 ± 0,14 a	29,67 ± 0,45 a	25,56 ± 0,02 b	0,0003	2,86
Densidade (g.cm⁻³)	1,013	1,011	1,012	-	-
Teor alcoólico (%)	4,40	4,70	4,50	-	-

Média ± erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais, na mesma linha, indicam que não há diferença entre as médias, no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Análises físico-químicas das cervejas fermentadas com três tipos diferentes de levedura na temperatura 22°C.

Análises físico-químicas	Leveduras			p-valor	CV%
	US-05	T-58	M-15		
°BRIX	6,57 ± 0,02 a	6,53 ± 0,02 a	7,30 ± 0,03 b	<0,0001	1,10
pH	4,91 ± 0,00 a	4,70 ± 0,02 b	4,30 ± 0,03 c	0,0002	1,64
Acidez titulável (g.L⁻¹)	5,17 ± 0,03 a	4,23 ± 0,02 b	3,33 ± 0,02 c	<0,0001	1,92
Cor (EBC)	29,32 ± 0,82 a	29,86 ± 0,09 a	31,63 ± 0,16 a	0,1997	4,73
Densidade (g.cm⁻³)	1,008	1,012	1,011	-	-
Teor alcoólico (%)	5,0	5,0	4,7	-	-

Média ± erro padrão da média. Médias seguidas de letras iguais, na mesma linha, indicam que não há diferença entre as médias, no nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

A levedura T-58 e M-15 nas temperaturas 18°C e 22°C levaram sete dias para consumir os seus compostos. A levedura US-05 nas temperaturas 18°C e 22°C finalizaram a fermentação no décimo dia.

Os valores de sólidos solúveis encontrados no mosto tiveram a média de 12,0, este valor está de acordo com Brasil (2009), que afirma que as cervejas fábricas com mosto a

12°BRIX são classificadas como comuns pela legislação. A levedura US-05 teve °BRIX de 8,0 e 6,57 nas temperaturas 18°C e 22°C, respectivamente, apresentando diferença significativa entre elas. A levedura T-58 apresentou nas duas temperaturas médias de °BRIX de 6,97 e de 6,53, com diferença significativa. Já a levedura M-15 não apresentou diferença significativa entre as médias nas duas temperaturas testadas como mostra a tabela 1. Os sólidos solúveis totais das três leveduras na temperatura de 18°C apresentaram diferença significativa ($p=0,001$), mostrando que °BRIX da levedura US-05 difere das outras duas leveduras na temperatura de 18°C mostradas na tabela 2. Já na temperatura de 22°C, foi a levedura M-15, com média de 7,30, que teve diferença significativa ($p<0,001$) das leveduras US-05 e T-58 mostradas na tabela 3.

A levedura U-05 na temperatura de 18°C teve o maior valor (8,0) de °BRIX, enquanto o menor valor (6,53) foi apresentado pela levedura T-58 na temperatura 22°C. Os sólidos solúveis totais representam os açúcares fermentescíveis e colaboram no processo fermentativo, podendo interferir no pH e na cor da cerveja, ou seja, o °BRIX é a quantidade de açúcares no mosto o qual será consumido para realização das atividades metabólicas das leveduras (SILVA, 2018).

Na análise de pH os valores obtidos no mosto cervejeiro tiveram resultado de 6,12. Depois que ocorreu o processo de fermentação os resultados de pH das cervejas fermentadas foram de 4,79 e 4,91 para a levedura US-05 nas temperaturas 18 e 22, respectivamente, com diferença significativa entre elas. A levedura T-58 não apresentou diferença significativa entre as duas temperaturas testadas. No entanto, a levedura M-15 teve médias de 4,86 e 4,30 com diferença entre elas como mostra a tabela 1. Na comparação das três leveduras na temperatura de 18°C, as médias não foram diferentes ($p>0,1$), enquanto na temperatura de 22°C todas as médias foram diferiram significativamente respectivamente mostradas na tabela 2 e 3. Tanto o maior como o menor pH apresentado foram na temperatura de 22°C, o maior com levedura U-05 (4,91) e o menor foi na levedura M-15 (4,30).

No entanto esses valores de pH estão dentro do estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2009). A cerveja do tipo Pale Ale possui pH ácido, correspondido na faixa de 4 a 5 (ARAÚJO, 2018), o que corrobora com o presente estudo. O baixo pH pode reduzir o risco de contaminação por microrganismos, o pode resultar em um maior tempo de prateleira para essas cervejas.

Acidez titulável do mostro exibiu média de 2,57 g.L⁻¹. A levedura US-05 teve acidez de 5,93 g.L⁻¹ e 5,17 g.L⁻¹ nas temperaturas 18°C e 22°C, respectivamente, apresentando diferença significativa entre elas. A levedura T-58 também apresentou diferença significativa nas duas temperaturas, com médias de 4,87 g.L⁻¹ e de 4,23 g.L⁻¹. A levedura M-15 apresentou diferença significativa entre as médias nas duas temperaturas testadas. A acidez titulável das três leveduras tanto na temperatura de 18°C como na temperatura 22°C apresentou diferença significativa (<0,0001). As cervejas fermentadas apresentaram valores entre 5,93 - 3,33 g.L⁻¹.

A acidez titulável é decorrente da qualidade das matérias primas e da atividade biológica da levedura (ROSA; AFONSO, 2015). Essa análise indica com o seu aumento contaminação bacteriana ou um baixo desempenho da levedura. As cervejas que apresentam maiores valores de acidez foram as fermentadas com a levedura US-05, os menores valores foram vistos nas cervejas M-15. Porém, não tem delimitações para acidez titulável na legislação brasileira (BRASIL, 2009).

A densidade inicial do mosto foi de 1,046 g/cm³. As densidades finais das cervejas depois que fermentadas foram de 1,013 g/cm³ (US-05) na temperatura de 18°C, na de 22°C 1,008 g/cm³, a M-15 na temperatura de 18°C foi de 1,011 g/cm³ e à de 22°C foi de 1,012 g/cm³ e a T-58 na temperatura de 18°C foi de 1,012 g/cm³, na de 22°C foi de 1,011 g/cm³. A diferença da densidade do mosto e da cerveja é devido a fermentação do açúcar. Segundo o Beer Judge Certification Program (BJCP, 2021), cervejas tipo Blonde Ale tem densidade inicial entre 1,038-1,054 g/cm³, sendo assim o mosto se encontra dentro dos parâmetros estabelecidos pelo guia. Já densidade final das cervejas tipo Blonde Ale precisa apresentar 1,008 – 1,013, ou assim, as cervejas analisadas estavam dentro do parâmetro indicado pelo BJCP (2021).

Esse resultado difere do visto por Hiralal et al. (2014), que demonstraram que na temperatura de 22°C houve uma maior taxa de formação de metabólicos e da densidade celular, do que nas temperaturas de 14 e 18 °C. A densidade é inversamente proporcional ao teor alcoólico, pois o álcool é resultado do açúcar fermentado, e o álcool é menos denso do que o açúcar (ALCARTE, MONTEIRO; BELLUCO, 2012; MILLA, 2019). Com isso, quanto menos açúcar fermentado, menos álcool formado e maior será a densidade da cerveja.

A coloração do mosto exibiu uma média de 40,07. De acordo com Castro e Serra (2012), a cor do mosto cervejeiro é um indicativo da cor final da cerveja, sendo importante

seu controle durante a fabricação. A cor da cerveja é reflexo do malte, se o malte foi mais torrado pode passar os pigmentos para o mosto da cerveja. O fato de ter ocorrido a queda do valor da cor do mosto cervejeiro quando comparado com os valores obtidos das cervejas, acontece em relação a eliminação dos materiais que possuem corantes na espuma durante seu processo de fermentação, como também em relação a diminuição dos taninos oxidantes que ocorrem pela ação das leveduras (BRUNELLI, MANSANO, VENTURINI, 2014). As leveduras US-05 e T-58 fermentou cervejas com coloração de 31,45 a 29,32 nas temperaturas de 18 e 22°C, porém não tem diferença significativa. Apenas a levedura M-15 exibiu diferença significativa entre as duas temperaturas. A cor na temperatura de 18°C, a levedura M-15 apresentou média com diferença significativa ($p=0,0003$) das outras duas leveduras. Já na temperatura de 22°C nas médias das leveduras não diferiram estatisticamente.

Assim, cerveja mais escura (31,63) foi a fermentada pela levedura M-15 na temperatura de 22°C, mas essa cerveja não apresentou diferença significativa comparada com as outras leveduras na mesma temperatura. Enquanto a cerveja mais clara foi exibida pela mesma levedura (M-15) na temperatura de 18°C, onde apresentou diferença significativa das outras leveduras, com a temperatura de também de 18°C.

Durante a fervura acontece dois processos que podem escurecer as cervejas, a caramelização e a reação de Maillard que ocorre a formação de pigmentos escuros (melanóides, polifenóis oxidados, metais vestigiais e riboflavina), a partir do aquecimento dos açúcares e das proteínas do malte, e produção do mosto (ALMEIDA,2005). Essas cervejas mais escuras apresentam odor e no sabor das cervejas característicos, e normalmente possuem sabor mais acentuado de malte e lúpulo, que remetem ao sabor de grãos com mais torra (ALMEIDA; BELO, 2017). A Cor da cerveja é uma propriedade que permite aos consumidores distinguirem o tipo de cerveja, assim como os requisitos de controle da produção. Conforme a legislação Brasileira (2009), as cervejas produzidas nesse estudo são classificadas como cervejas escuras, pois apresentam EBC >20, e de acordo com Abracerva (2019), cervejas do tipo PALE ALE devem apresentar coloração ente 8 -20 EBC. A cor mais escura pode ser justificada por ser cervejas artesanais, não filtradas, com teor de sólidos insolúveis mais que as cervejas industrializadas.

Todas as cervejas tiveram teores alcoólicos entre 4,4 a 5,0 %, que está em conformidade com a Beer Judge Certification Program (BJCP, 2021), para cervejas tipo

Blonde Ale. Nem os diferentes tipos de leveduras e nem as duas temperaturas não promoveram alterações desse parâmetro.

5.2 Análises dos compostos voláteis

De acordo com o Beer Judge Certification Program (BJCP) o aroma do estilo Blonde ale se caracteriza como aroma de maltes doces, podendo ter uma leve nota de pão ou caramelo, sendo opcional e aceitável o aroma frutado. Pode ter quase todas as variedades de lúpulos, as notas frutadas, cítricas, florais e condimentadas são mais comuns para o estilo. A cerveja do tipo Blonde Ale (BJCP 18A) pertence à categoria de Pale American Ale, comparável a cervejas do tipo Pilsen e Lager (BJCP, 2021).

A Tabela 4 estão descritas as substâncias que foram encontradas no mosto e nas cervejas com as três leveduras e nas duas temperaturas. Essas substâncias são responsáveis pelo aroma e sabor de um alimento, tendo uma ação de suma importância em relação a qualidade sensorial, como por exemplo seu aroma, sabor, aparências e entre outros aspectos (PREEDY, 2009; PIRES; BRÁNYIK, 2015).

Tabela 4. Compostos voláteis identificados no mosto e na cerveja com as duas temperaturas.

SUBSTÂNCIA	CAS	IONS	DESCRITORES DE AROMA
Mosto			
Butanal, 3-methyl- ¹	590-86-3		cevada
Ethanol	64-17-5		doce
1-butanol, 3-metil-	123-51-3	41; 55; 42; 57; 29	cacau, malte, floral
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, formate	115-99-1		Cítricos, Coentros
Cervejas (18°C e 22°C)			
1-butanol, 3-metil-	123-51-3	41; 55; 42; 57; 29	cacau, malte, floral
1-butanol, 3-metil-, acetato	123-92-2	43; 67; 55; 87; 19	banana, maçã, pera
1-Propanol	71-23-8	31; 27; 42; 59; 60	álcool, pungente
1-Propanol, 2-metil-	78-83-1	43; 41; 42; 31; 27	vinho, solvente, amargo
Ácido etanimídico, éster etílico	1000-84-6		-
Benzenetamina, N-[(4-hidroxi)hidrocinamoil]-	106827-59-2		-
2,3-Epoxibutano	3266-23-7		-
1,3-butanodiol, (S)-	24621-61-2		-
Ácido decanóico, éster etílico	110-38-3		conhaque, Uva, Pera
1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimetil-, [S-(Z)]-	142-50-7		-

Fenaclon	306-20-7		-
Ácido butanóico, éster etílico	105-54-4	71; 43; 88; 60; 73	maçã
Etanol	64-17-5	31; 45; 46; 27; 29	doce
etanolamina	141-43-5	30; 28; 31; 29; 42	-
Acetato de Etila	141-78-6	43; 29; 45; 15; 61	abacaxi
estireno	100-42-5		doce, quase floral
fenilefrina	59-42-7		-
ácido hexanóico	142-62-1	60; 73; 41; 27; 43	suor
Ácido hexanóico, éster etílico	123-66-0	88; 43; 29; 99; 60	casca de maçã, fruta madura, abacaxi, conhaque
Ácido dodecanóico, éster etílico	106-33-2		Floral, Fruta, Folha
ácido n-decanóico	334-48-5	60; 73; 41; 43; 57	poeira, gordura e grama
Ácido acético, éster 2-feniletílico	103-45-7	-	Flor, Mel, Rosa
Ácido octanóico, éster etílico	106-32-1	173; 174; 88; 78; 84	Damasco, Conhaque, Gordura, Floral, Abacaxi
álcool feniletílico	60-12-8	91; 92; 122; 65; 39	mel, especiaria, rosa, lilás
Butanamida, 2,2,3,3,4,4,4-heptafluoro-N-(2-feniletil)-X	29723-29-3		-
Ácido propanodióico, propil-	616-62-6	36; 60; 44; 73	-
L-Alanina, N-[(1,1-dimetiletoxi)carbonil]-X	15761-38-3		-
Amantadina	768-94-5		-
Metil-6-desoxi-6-fluoro-2,3,4-tri-O-metilβD-galactopiranosido	2248-90-0		-
Fenol, 3-metil-5-(1-metiletil)-, metilcarbamato	2631-37-0		-
Anfetamina	300-62-9		-
Propanal, 2,3-dihidroxi-, (S)-	497-09-6		-
Acetato de isobutila	110-19-0		Maçã, Banana, Floral, Erva
ácido octanóico	124-07-2		suor, queijo
Etanona, 1-(2-hidroxi-5-metilfenil)-	1450-72-2		Floral
Ácido acético, éster butílico	123-86-4		Maçã, Banana, Pungente
Silano, [[4-[1,2-bis[(trimetilsilil)oxi]etil]-1,2-fenileno]bis(oxi)]bis[trimetil-	56114-62-6		-
Etil 9-decenoato	67233-91-4		-
Ácido acético, [(aminocarbonil)amino]oxo-	585-05-7		-
álcool 2-metoxibenzílico	612-16-8		-
1,3,5,7-Ciclooctatetraeno	629-20-9		-
3(2H)-furanona, di-hidro-2-metil-	3188-00-9		Nozes
Ácido butanóico, 3-metil-	503-74-2	60; 43; 41; 45; 27	suor, ácido, rançoso
Ácido butanóico, éster etílico	105-54-4	71; 43; 88; 60; 73	Maçã
benzenobutal	18328-11-5		-
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil-, formato	115-99-1		Citrinos, Coentros

Fonte: Flanor.net.PucChem (2023)

A cromatografia gasosa em conjunto com a técnica de headspace, é eficiente para separação, identificação e determinação da composição de misturas complexas

(ANDERSON, 2019; GOMES, YOSHINAGA; BORTOLETO, 2020; SKOOG et al., 2017). Os off-flavours ou seja, compostos que dão gosto desagradável, são os principais e mais sérios problemas na produção da cerveja, uma vez que os consumidores julgam o sabor do produto e quando essa cerveja está fora dos padrões estabelecidos não é tão consumida (AZEVEDO, 2022).

Na tabela 5 estão apresentados os compostos voláteis majoritários apresentados no mosto e nas cervejas produzidas. Foram considerados como compostos voláteis majoritários as substâncias que apresentaram percentual maior de 3% na composição do mosto e das cervejas. O percentual de cada composto desse, influência significativamente no resultado aromático de cada cerveja.

Tabela 5. Compostos voláteis majoritários identificados no mosto e na cerveja com as duas temperaturas.

SUBSTÂNCIA	Mosto	US-05		M-15		T-58		DESCRITORES DE AROMA
		18°C	22°C	18°C	22°C	18°C	22°C	
Butanal, 3-metil-	76,80	-	-	-	-	-	-	Cevada
1-butanol, 3-metil-	17,67	61,20	62,75	67,55	54,15	56,09	56,14	cacau, malte floral
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimetil-, formato		-	-	-	-	-	-	Cítricos, Coentros
Ácido etanimídico, éster etílico	5,52	3,30	-	-	-	4,75	-	-
1-Propanol, 2-metilo		14,10	12,24	5,30	10,08	10,58	12,86	Maçã, Amargo, Cacau
1-Butanol, 3-metil-, acetato		19,10	14,52	12,55	14,59	23,10	19,36	Maçã, Banana, Pera
Ácido octanóico, éster etílico		-	-	3,39	6,59	-	-	Damasco, Conhaque, Floral, Abacaxi
1 Propanol		-	3,79	-	8,00	-	5,08	álcool, pungente
Representação em %	99,9	97,7	93,2	88,8	93,4	94,5	94,4	

Fonte: próprio autor (2023)

Os compostos voláteis encontrados na cerveja, de acordo com a Tabela acima pertencem às classes dos álcoois, aldeído e ésteres. De acordo com Preedy (2009) e Pires e Brányik, (2015) são os compostos que se destacam na formação do flavor das cervejas. Com isso todas as três leveduras nas duas temperaturas utilizadas no experimento os compostos majoritários foram 1-butanol, 3-metil-, e 1-Butanol, 3-metil-, acetato

estiveram presentes com maior valor percentual na temperatura de 18°C e 22°C em relação a porcentagem de representação de área que cada um representa, a US-05 na temperatura de 18°C representa 97,7%, na de 22°C 93,2% a M-15 na temperatura 18°C representa 88,8% na de 22°C 93,4% e T-58 na temperatura de 18°C 94,5% e na de 22°C 94,4% tendo a levedura US-05 na temperatura de 18°C com a maior porcentagem em relação a área total de todos os aromas específicos do estilo da cerveja Blonde Ale.

Os álcoois totais presentes em cervejas, estes são os compostos sensoriais mais abundantes presentes na cerveja. As cervejas produzidas pelas três leveduras na temperatura de 22°C apresentaram as maiores concentrações de 1-propanol. Os compostos alcoólicos conferem o aroma das bebidas alcoólicas exibindo um sabor amargo (álcool, pungente) (ATTCHELOUWA, et al., 2020), o excesso dos compostos alcoólicos pode dar um aroma desagradável e até dor de cabeça ao beber.

Já os ésteres podem enriquecer o aroma da bebida, mas sua forte fragrância pode dominar o sabor da cerveja (WU et al., 2021). Apenas as cervejas fermentadas pela levedura M-15 apresentaram ácido octanóico/éster etílico acima de 3% na sua composição, sendo a cepa na temperatura de 22°C a que apresentou a maior quantidade de substâncias majoritárias comparada com as demais. Esses ésteres trazem a cerveja percepção de Damasco, Conhaque, Floral, Abacaxi, o que têm um impacto positivo no perfil de aroma de uma bebida alcoólica, (CASTRO; ROSS, 2015). No entanto, para Giannetti et al. (2019) contribuem para dar sabor com notas rançosas, pois os ácidos carboxílicos responsáveis por odores específicos de frutas, queijo e gordura contribuem para o amargor, adstringência e ranço da bebida. O acetado de etila não ficou entre os VOC's majoritários das cervejas, e de acordo com Troilo et al. (2019) e Kobayashi, Shimizu e Shioya (2008), cervejas contendo acetato de etila com concentrações superiores a 30 mg L⁻¹ podem apresentar sabor adocicado e de solvente, não desejáveis.

Estudos mostram que alguns dos compostos voláteis contribuem muito para o perfil sensorial. No entanto para Bortoleto e Gomes (2020), é difícil classificar cervejas artesanais, principalmente porque cada receita é única, mesmo quanto a cerveja deriva de um determinado estilo, seja de origem ou de rota fermentativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste trabalho os resultados das análises físico-químicas que foram feitas nas cervejas fermentadas pelas leveduras, M-15, US-05 e T-58 em duas temperaturas distintas de fermentação (15°C e 22°C) mostraram-se de acordo com os parâmetros vigentes para o estilo da cerveja. Nas duas temperaturas a cepa M-15 e a T-58 foram as que finalizaram primeiro suas fermentações onde os açúcares presentes foram consumidos mais rápidos. Por fim foi possível concluir que a técnica de cromatografia gasosa com detecção em espectrômetro de massas é considerada como uma ferramenta viável onde foi possível identificar importantes substâncias presentes na cerveja tendo as três leveduras com uma boa produção de aromas específicos desejáveis durante a fermentação, mesmo duas delas não sendo indicadas para o estilo tendo duas substâncias majoritárias a 1-Butanol 3-methyl e 1-Butanol, 3-metil-, acetato. Com a utilização das três leveduras nas duas temperaturas a que teve um papel melhor em relação a quantidade de compostos voláteis do estilo onde produziu uma maior quantidade em relação a porcentagem de compostos oriundos do processo fermentativo foi a M-15 na temperatura de 22°C onde apresentou ácido octanóico/éster etílico acima de 3% na sua composição, o que tornou essa cerveja com aroma e sabor mais adocicado, floral e frutado, tornando-a um possível produto em potencial de ser acrescentado na produção de cervejas artesanais do tipo Blonde Ale, visto que essas características contribuem favoravelmente nas características organolépticas da cerveja, aumentando o interesse de compra pelos seus consumidores. Desta forma, foi possível verificar que a escolha da levedura e sua temperatura de fermentação influenciam no perfil aromático da cerveja estudada, sendo fator primordial seguir os parâmetros de produção para garantir a qualidade final do produto, como também a conformidade dos descritores aromáticos do estilo da cerveja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACERVA. **Associação Brasileira de Cerveja Artesanal**. Cerveja do tipo Pale Ale. 2019. Disponível em: <https://abracerva.com.br/2019/04/02/registro-de-estilos-de-erveja-no-inpi/>

ALCARDE, A.R.; MONTEIRO, B. M. S; BELLUCO, A. Composição química de aguardente de cana-de-açúcar fermentadas por diferentes cepas de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*. **Química nova**, v.35, 2012.

ALMEIDA, D.S.; BELO, R.F.C. **Análises Físico-Químicas de cervejas artesanais e industriais comercializadas em Sete Lagoas –MG**, Faculdade Ciências da Vida – FCV, 2017.

ALMEIDA, J.B.S. **Cerveja**. In: VENTURINI FILHO, W.G. (Coord.). Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgard Blücher, 2005, cap. 15 p. 347-382.

ARAÚJO, B. M. **Elaboração da cerveja artesanal Pale Ale e avaliação dos parâmetros Físico-químicos de acordo com os padrões comerciais**, Formiga – MG, 2018.

ANDERSON, H. E., SANTOS, I. C.; HILDENBRAND, Z. L.; SCHUG, K. A. A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control. **Analytica Chimica Acta**, 1085, 1-20, 2019.

ATTCHELOUWA, C. K. et al. Characterisation of volatile compounds associated to sensory changes during the storage of traditional sorghum beer by HS-GC / FID and SPME-GC / MS. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 2, 2020.

AZEVEDO, M. M. **Caracterização da composição de cerveja e de destilado de cerveja e desenvolvimento de um método de triagem simples para determinação de dietilenoglicol por cromatografia gasosa**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Química, 2022.

BARDER, J.; MAST-GERLACH, E.; POPVIC, M. K.; BAJPAI, R.; STAHL, U. Relevance of microbial coculture fermentations in biotechnology. *Journal of Applied Microbiology*, v.109, n.2, p.371-387, 2010. Disponível em: <http://www.pibic.ufpa.br/relParciais/8467561.pdf>. Acesso em: 08 de jul. de 2023.

BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM (BJCP). Beer Style Guidelines. Edited by Gordon Strong, 2021.

BELTRAMELLI, M. **Cervejas, brejas e birras: um guia completo para desmistificar a bebida mais popular do mundo**, São Paulo: Leya, 2012.

BORTOLETO, G.G.; GOMES, W.P.C. Determination of volatile organic compounds in craft beers by gas chromatography and headspace sampling. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e600997746, 2020.

BRÁNYIK, T. et al. A review of flavor formation in continuous beer fermentations. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 114, n. 1, p. 3-13, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Decreto nº 6.871, de 04. Regulamenta da Lei nº 8.918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, **A classificação, o registro, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de Bebidas**. Diário Oficial da União, Brasília, 04 de junho de 2009.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Anuário da Cerveja 2019. Brasília. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/wp-content/uploads/2020/03/anuario-cervejaWEB.pdf. 2020 .

BRESSIANI, C. E. O crescimento de 39,6% no número de cervejarias em 2016 é espetacular. **O Globo**, maio 2017. Disponível em: <https://blogs.oglobo.globo.com/aquise-bebe/post/artigo-o-crescimento-de-396-no-numero-de-cervejarias-em-2016-eespetacular.html>. Acesso: 12 de agosto de 2023.

BREWERS ASSOCIATION. **Craft Brewer Defined**. Disponível em: <<http://www.brewersassociation.org/statistics/craft-brewer-defined/>>. Acesso em: 12 de agosto de 2023

BRUNELLI, L. T., MANSANO, A. R., & VENTURINI FILHO, W. G., Caracterização Físico-Química de Cerveja Elaboradas com Mel. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2014 v. 17. - Campinas - SP.

CASTRO, L. F.; ROSS, C. F. Determination of flavour compounds in beer using stirbar sorptive extraction and solid-phase microextraction. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 121, n. 2, p. 197–203, 2015.

CASTRO, M.; SERRA, S. G. **Comparação de quatro marcas de cervejas brasileiras**. São Paulo, 25p, 2012. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Universidade do Vale da Paraíba, São Paulo.

COUTO, A; SANTOS, L; GOMES, M; CARDOSO, V. ESTUDO DA DENSIDADE DO MOSTO DE CERVEJA DURANTE A MOSTURAÇÃO UTILIZANDO MALTES DE CEVADA E TRIGO: Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Uberaba, 09 e 10 de dezembro de 2022. file:///C:/Users/Victoria/Downloads/download.pdf.

EBLINGER, H. **Handbook of Brewing**. [S. l.]: Wiley, 2009. E-book.

ERTEN, H.; TANGULER, H.; CARRIOZ, H. The effect of pitching rate on fermentation and flavour compounds in high gravity brewing, *Journal of Institute of Brewery*. v.11, p.75-79, 2007. Disponível em: <http://www.pibic.ufpa.br/relParciais/8467561.pdf>. Acesso em 08 de jul. de 2023.

ESCOHOTADO, A. **La história Elemental de las drogas**. Barcelona: Anagrana, 1996. Acesso em: 05/07/2023

ESTEVINHO, L. M.. Leveduras e Fermentações: O Caso da Cerveja. Jornadas de Lúpulo e Cerveja, Novas Oportunidades de Negócio - Livro de Atas, 2015.

FERREIRA, A. C., PEREIRA, M. M. O., REZENDE, D. C. E VIEIRA, A. S. **Simbolismo e Construção da Identidade por meio do Consumo de Cerveja Artesanal**. *Revista de Negócios*, 23(3), 19-35, 2018.

Flanor.net.PucChem (2023). Disponível em:https://www.flavornet.org/f_kovats.html e PucChem (nih.gov) Acesso em: 06 de jun de 2023.

GARCIA, V. V. Cultos em Cervejas: Discursos sobre a cerveja artesanal no Brasil. **Soc. e Cult.**, v. 18, Goiânia, 2015.

GIANNETTI, V. et al. Flavour fingerprint for the differentiation of Grappa from other Italian distillates by GC-MS and chemometrics. **Food Control**, v. 105, p. 123–130, 2019.

GOMES, W. P. C.; YOSHINAGA, F.; BORTOLETO, G. G. Determinação de Álcoois em Bebidas Comerciais por Cromatografia Gasosa e Amostragem por Headspace. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v.10, n.1, p.111-124, 2020.

HIRALAL, Lettisha; OLANIRAN, Ademola O.; PILLAY, Balakrishna. “Aroma-active ester profile of ale beer produced under different fermentation and nutritional conditions”. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 117, n. 1, p. 57-64, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, **Métodos Físico-Químicos Para Análise de Alimentos**. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: 2008.

KOBAYASHI, M.; SHIMIZU H.; SHIOYA, S. Beer volatile compounds and their application to low-malt beer fermentation. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 106, n. 4, p. 317- 323, 2008.

KUCK, L. S. Cerveja: Sabor e Aroma. 2008. Disponível em: http://www.ppgcta.ufc.br/374_Disserta%20Luan%20Icaro%20Freitas%20Pinto.pdf. Acesso em: 10 de ago. de 2023.

LIMA, B. J. B. **Elaboração de cerveja artesanal tipo Blonde Ale**. 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Curso de Química Industrial, Departamento de Química, Centro Ciências e Tecnologia, UEPB, Campina Grande, 2019.

LIMBERGER, Silvia C. **O setor cervejeiro no Brasil: gênese e evolução**. 2013. Disponível em < <https://periodicos.furg.br/cnau/article/view/4769/2970>>. Acesso em 14 de agosto de 2023.

Macedo, N. (2021). **Brasil é o 3º país que mais consome cerveja no mundo**. <http://edicaodobrasil.com.br/2021/06/11/brasil-e-o-3o-pais-que-mais-consomecerveja-no-mundo/>. <https://ciagro.institutoidv.org/ciagro2021/uploads/604.pdf>

MELNIKOV D.M.G.-**Fermentação primária para produção de cervejas de altas densidades por processo contínuo utilizando leveduras imobilizadas em bagaço de malte**, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA. Lorena— SP ,2007. Disponível em:

<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/antigas/2007/BIT07008.pdf>. Acesso em: 10 de out. de 2018.

MILLA, R. E.G. **Desarrollo de una Cerveza artesanal american Pale Ale utilizando como Malta base Sorgo (*Sorghum biolor*) com cebada (*Hordeum vulgare*) y endulzada com miel de abeja**. Zamorano – Honduras, 2019.

MORADO, R. **Larousse da Cerveja**. Larousse do Brasil. São Paulo, 2009.

PALMER, John J. *How to Brew*. 3. ed. [S. l.]: Brewers Publications, 2006.

PIRES, E.; BRÁNYIK, T. (2015). **Biochemistry of Beer Fermentation**. Springer.

PREDDY, V. R. (Ed.). **Beer in Health and Disease Prevention**. Academic Press. 2009.

ROSA, N. A.; AFONSO, J.C. A química da cerveja. *Química Nova na escola*. São Paulo, vol 37, n 2, p 98-105, 2015.

SILVA, G. A.; AUGUSTO, F.; POPPI, R. J. Exploratory analysis of the volatile profile of beers by HS-SPME-GC. **Food Chemistry**. v. 111, n. 4, p. 1057-1063, 2008.

SILVA, M. F. **Monitoramento do controle de qualidade em uma indústria de bebidas de pequeno porte - Indústria de Bebidas Garanhuns Ltda**. 2018. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2018.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M., HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica** (9a ed.). Cengage Learning, 2017.

SMOGROVICOVA, D.; DOMENY, Z. Beer volatile by-product formation at different fermentation temperature using immobilised yeasts. **Process Biochemistry**, v. 34, n. 8, p. 785-794, 1999.

TROILO, A.; FRANCESCO, G. DE; MARCONI, O.; SILEONI, V.; TURCHETTI, B.; PERRETTI, G. Low Carbohydrate Beers Produced by a Selected Yeast Strain from an Alternative Source. **Journal Of The American Society Of Brewing Chemists**, v.78, n.1, p.80-88, 2019.

TSUJI, H.; MIZUNO, A. Volatile compounds and the changes in their concentration levels during storage in beers containing varying malt concentrations. **Journal of food science**, v. 75, n. 1, p. C79-C84, 2010.

VALENTE, B.L. **Cerveja artesanal, um mercado em expansão no Brasil**. Administradores, O portal da administração. 2017. Disponível em <<http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/cerveja-artesanal-um-mercado-emexpensao-no-brasil/107062/>>. Acesso em 11 de agosto de 2023.

VANDERHAEGEN, B. et al. Evolution of chemical and sensory properties during aging of top- -fermented beer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 23, p. 6782-6790, 2003.

VANDERHAEGEN, B. et al. The chemistry of beer aging: a critical review. **Food Chemisty**, v. 95, n. 3, p. 357-381, 2006.

VANDERHAEGEN, B. et al. Aging characteristics of different beer types. **Food chemistry**, v. 103, n. 2, p. 404-412, 2007.

VERHAGEN, L., C. Beer flavor. LEWIS N. M.; LIU, H-W. *Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology*, **Elsevier Science**, p. 967–998, 2010.

Walker, G. e Stewart, G. 2016. “Saccharomyces Cerevisiae in the Production of Fermented Beverages.” *Beverages* 2 (4): 30. doi:10.3390/beverages2040030. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/13875/1>. Acesso em: 10 de ago. de 2023

WU, J. et al. Journal of Food Composition and Analysis Recent advances in the understanding of off-flavors in alcoholic beverages : Generation , regulation , and challenges. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 103, p. 104117, 2021.

ZANATTA, K. **Apostila do Curso de Sommelier de Cerveja**. Instituto da Cerveja Brasil. 2017.