

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Perfil químico e sensorial de cerveja do estilo Belgian Golden Strong Ale envelhecida em carvalho francês (*Quercus petraea*) e madeiras brasileiras: amburana (*Amburana cearensis*) e jequitibá (*Cariniana legalis*)

Danilo Oliveira Cipriano

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2024

Danilo Oliveira Cipriano
Bacharel em Engenharia Agrônômica

Perfil químico e sensorial de cerveja do estilo *Belgian Golden Strong Ale* envelhecida em carvalho francês (*Quercus petraea*) e madeiras brasileiras: amburana (*Amburana cearensis*) e jequitibá (*Cariniana legalis*)

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **ANDRÉ RICARDO ALCARDE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de alimentos

Piracicaba
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Cipriano, Danilo Oliveira

Perfil químico e sensorial de cerveja do estilo Belgian Golden Strong Ale envelhecida em carvalho francês (*Quercus petraea*) e madeiras brasileiras: amburana (*Amburana cearensis*) e jequitibá rosa (*Cariniana legalis*) / Danilo Oliveira Cipriano. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. Piracicaba, 2024.

106 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Cerveja 2. Amburana 3. Envelhecimento 4. Carvalho 5. Jequitibá 6. Madeiras brasileiras I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, em qualquer caminho que resolvi seguir nessa vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais José e Renata pelo incentivo, pela educação, pela inspiração de sempre ser uma pessoa melhor e por todo amor que recebo e recebi todos os anos da minha vida Amo vocês.

À minha querida namorada Marcella, por tudo que me ensina, pelos conselhos e por sempre apoiar e fazer parte dos meus planos. Te amo.

Ao meu irmão Lucas, pelo apoio e pelo companheirismo.

A minha vó Marta, que esteve ao meu lado em tantos dias difíceis, mas que me ajudava enfrentá-los logo pela manhã passando um café fresquinho, Te amo vó.

As minhas gatinhas, Chimay e Shimeji, companheiras de todos os dias, principalmente nos momentos de escrita.

A minha Tia Lu e minha afilhada Ana Clara, pelo apoio e amor de sempre.

Ao meu orientador, professor André, pela confiança e oportunidades oferecidas, ajudando no meu desenvolvimento acadêmico.

Aos amigos que fizeram parte de minha trajetória pessoal e profissional no Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Bebidas (LTQB/ESALQ): Mariana, Luisa, Marcelle, Sol, Amanda e Letícia, obrigado por toda ajuda.

A Tatiane Ribeiro, uma amiga da UFSCar, que me orientou e me ajudou demais em toda a parte de análise sensorial do projeto, muito obrigado.

Ao estagiário do laboratório Guilherme, que foi essencial para a realização da análise sensorial, muito obrigado por toda ajuda.

Aos meus melhores amigos de Limeira, Chico e João, pelos bons momentos de descontração e apoio.

Aos meus amigos de Piracicaba, Laécio e Rafael, por toda ajuda ao longo do mestrado.

À Universidade de São Paulo e à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) pelos investimentos e oportunidades concedidos a mim.

Aos funcionários do LAN, em especial àqueles do setor de Açúcar e Alcool, pelo auxílio e prontidão, e a Smart yeast, que sempre colaborou com ótimas leveduras para o projeto.

Aos provadores que se disponibilizaram a participar da análise sensorial, cedendo seu tempo para me ajudar, cada um de vocês foi muito importante.

Ào Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — Brasil (CNPq), pela bolsa de Mestrado concedida (processo 130696/2021-8).

BIOGRAFIA

Danilo Oliveira Cipriano, filho de José Benedito Cipriano e Renata Cristina de Oliveira Cipriano, nasceu em 1992 na cidade de Limeira/SP.

É Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Sommelier de cervejas pelo Instituto Cerveja Brasil, entusiasta da cerveja artesanal e cervejeiro caseiro desde 2016.

Iniciou o Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em março de 2021.

*“A cerveja é a prova viva de que Deus nos ama e nos quer ver felizes”
(Benjamim Franklin)*

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Matérias-primas para a produção de cerveja.....	15
2.1.1. Água	15
2.1.2. Malte.....	15
2.1.3. Lúpulo.....	16
2.1.4. Leveduras	17
2.2. Processo de produção de cerveja	17
2.3. Compostos aromáticos da cerveja	19
2.3.1. Compostos fenólicos	19
2.3.2. Ésteres e álcoois superiores	19
2.3.3. Aldeídos.....	20
2.4. Madeira.....	20
2.4.1. Envelhecimento em madeira	21
2.4.1.1. Vias aditivas	22
2.4.1.2. Vias subtrativas	22
2.4.1.3. Vias interativas	23
2.4.1. Carvalho	23
2.4.2. Amburana	23
2.4.3. Jequitibá rosa	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Local	25
3.2. Preparo e envelhecimento da cerveja	25
3.3. Indicadores de qualidade da cerveja.....	28
3.3.1. Cor, Amargor, Extrato real, aparente e original, calorias , gravidade, densidade e CO ₂	28
3.3.2. pH, Acidez volátil e acidez total.....	29
3.3.2.1. Teste de hipótese análises de pH, acidez volátil e acidez total.....	30
3.3.3. Análise de fenólicos totais.....	31
3.4. Análise sensorial.....	31

3.4.1. Provedores.....	32
3.4.2. Amostras	33
3.4.3. Metodologia	33
3.4.3.1. Aceitação em escala hedônica.....	33
3.4.3.2. Teste escala do ideal	34
3.4.3.3. Check All That Apply (CATA)	34
3.4.3.4. Análise dos dados sensoriais.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Análises químicas	37
4.1.1. Teor alcóolico	37
4.1.2. Amargor	38
4.1.3. Coloração	38
4.1.4. Análise de componentes principais (PCA) dos atributos químicos analisados	39
4.1.4.1. Aprofundamento dentro das dimensões	45
4.1.4.2. A distribuição dos tratamentos perante os atributos mais relevantes.....	47
4.1.5. pH.....	48
4.1.6. Acidez total	52
4.1.7. Acidez volátil	54
4.1.8. Análise de correlações entre acidez volátil e total com o pH	56
4.1.9. Análise de fenólicos totais	58
4.2. Análise sensorial	62
4.2.1. Perfil dos consumidores e hábitos de consumo	62
4.2.2. Aceitação pela escala hedônica.....	65
4.2.3. Análise de penalidades.....	67
4.2.4. CATA (Check all that apply)	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICES	91
ANEXOS	99

RESUMO

Perfil químico e sensorial de cerveja do estilo Belgian Golden Strong Ale envelhecida em carvalho francês (*Quercus petrea*) e madeiras brasileiras: amburana (*Amburana cearensis*) e jequitibá (*Cariniana legalis*)

Com um crescimento exponencial em todo o mundo, o setor cervejeiro está cada vez mais buscando produtos com qualidade diferenciada para atender os mais exigentes consumidores. Existe uma infinidade de ingredientes que podem ser adicionados aos insumos básicos para acrescentar sabores, aromas, textura entre outras características no produto final. A rica flora brasileira conta com inúmeras espécies de madeiras que possuem potencial de trazer inovação e diversidade para as cervejas. Diante disso, o projeto buscou acompanhar a evolução na composição química da cerveja envelhecida com madeira. O projeto utilizou barris de Carvalho Francês (*quercus petrea*), madeira mais utilizada no mundo para envelhecimento de bebidas, em comparação com duas madeiras nacionais, Amburana (*amburana cearensis*) e Jequitibá rosa (*cariniana legalis*). As amostras foram coletadas a cada mês, num período total de 6 meses de envelhecimento e foram comparadas química e sensorialmente, tendo como base de análise a cerveja fresca. O estilo de cerveja foi o Belgian Golden Strong Ale com 7,5% de ABV, 25 IBU, 10,1 EBC e OG de 1084, conforme indica o guia de estilos BJCP. As amostras foram avaliadas mediante as análises de indicadores de qualidade de cerveja, tais como pH, cor, amargor, teor alcoólico, compostos fenólicos totais, bem como análise sensorial. A hipótese é que as madeiras brasileiras sejam uma alternativa para envelhecimento de cerveja, tanto do ponto de vista econômico, pois não há elevados custos como importação dos barris de carvalho, como pelo enriquecimento do buquê aromático da bebida. Os resultados deste estudo evidenciam que todas as variedades de madeira examinadas exerceram uma influência significativa sobre as propriedades químicas e sensoriais da cerveja em questão, diminuindo teor alcoólico, aumentando a cor e o teor de fenólicos totais, já em relação ao amargor, carvalho e jequitibá rosa apresentaram uma queda, diferente da amburana que apresentou um aumento no amargor. Todas as amostras de cerveja submetidas à maturação em diferentes tipos de madeira receberam uma avaliação positiva e satisfatória por parte do quadro de provadores.

Palavras-chave: Cerveja, Qualidade, Envelhecimento, Amburana, Jequitiba, Madeiras

ABSTRACT

Chemical and sensorial profile of Belgian Golden Strong Ale style beer aged in french oak (*Quercus petrea*) and Brazilian woods: amburana (*Amburana cearensis*) and jequitibá (*Cariniana legalis*)

With exponential growth around the world, the beer sector is increasingly looking for products with differentiated quality to satisfy the most demanding consumers. There are a large number of ingredients that can be added to basic inputs to add flavors, aromas, texture and other characteristics to the final product. The rich Brazilian flora contains countless species of wood that have the potential to bring innovation and diversity to beers. Given this, the project sought to monitor the evolution in the chemical composition of beer aged with wood. The project used barrels of French Oak (*quercus petrea*), the wood most used in the world for aging drinks, in comparison with two national woods, Amburana (*amburana cearensis*) and Jequitibá rosa (*cariniana legalis*). The samples were collected every month, over a total period of 6 months of aging and were compared chemically and sensorially, using fresh beer as the basis of analysis. The beer style is Belgian Golden Strong Ale with 7.5% ABV, 25 IBU, 10.1 EBC and OG of 1084, as indicated in the BJCP style guide. The samples were evaluated through analysis of beer quality indicators, such as pH, color, bitterness, alcohol content, total phenolic compounds, as well as sensory analysis. The hypothesis is that Brazilian wood is an alternative for aging beer, both from an economic point of view, as there are no high costs with importing oak barrels, and by enriching the drink's aromatic bouquet. The results of this study showed that all wood varieties examined exerted a significant influence on the chemical and sensorial properties of the beer in question, reducing alcohol content, increasing color and total phenolic content. In relation to bitterness, oak and jequitibá rosa showed a drop, unlike amburana which showed an increase in bitterness. All beer samples submitted to maturation in different types of wood received a positive and satisfactory evaluation from the panel of tasters.

Keywords: Beer, Quality, Aging, Amburana, Jequitibá, Woods

Tabela 1. Siglas dos parâmetros cervejeiros utilizadas no estudo.

Sigla	Significado
IBU	International Bitterness Unit, ou Unidade Internacional de Amargor, e ela aponta a intensidade de amargor da cerveja, sendo quanto mais alta mais amarga é a cerveja.
EBC	A escala EBC, derivada da organização European Brewing Convention, é a escala mais utilizada no Brasil e nos países da Europa para medir a coloração de uma cerveja
ABV	ABV ou Alcohol by Volume é o padrão de medida utilizado atualmente para expressar em percentual o teor alcoólico das bebidas.
OG	Original Gravity = Densidade Original = quantidade de substâncias (açúcares, em geral) fermentáveis e não fermentáveis após a fervura, antes do início da fermentação.
FG	FG = Final Gravity = Densidade Final = quantidade de substâncias (açúcares, em geral) fermentáveis e não fermentáveis após a fermentação.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A cerveja é uma bebida tão antiga que tabuletas de argila que descrevem o processo de fabricação de cerveja e datam de mais de 5.000 anos foram encontradas na Mesopotâmia. De acordo com essas tabuletas, os sumérios costumavam preparar “pão de cerveja” com sementes de cevada germinadas. Ao triturar este pão na água, eles obtiveram um líquido, que foi finalmente fervido e misturado com algumas ervas, resultando em uma bebida livre de bactérias nocivas (FAO, 2009).

Com um crescimento exponencial em todo o mundo, o setor cervejeiro está cada vez mais buscando produtos com qualidade diferenciada para atender os mais exigentes consumidores. No total, o tamanho do mercado de cerveja é estimado em US\$ 691,63 milhões em 2023, e deve atingir US\$ 872,67 milhões até 2028. A cerveja detém uma participação proeminente no mercado global de bebidas alcoólicas em comparação com outras bebidas alcoólicas. Também está ganhando popularidade significativa entre as gerações mais novas devido às suas diversas formulações, sabores e ofertas de sabores, que ajudaram a impulsionar o crescimento do mercado (Mordor, 2023).

Em 2021, o Brasil solidificou sua posição como o terceiro maior produtor mundial de cervejas, atrás apenas da China e dos Estados Unidos, com um total de 1549 cervejarias, representando um aumento de 12% em relação a 2020 (Mafrá, 2022). Sendo que em 2022 esse número já subiu para 1729 cervejarias registradas no MAPA, e o Brasil exportou cerveja para 79 países diferentes, igualando à maior marca do período estudado, verificada em 2020, o que representa uma expansão de mercado de 11,3% em relação ao ano anterior. Esse crescimento reflete o amadurecimento do paladar dos consumidores brasileiros, que estão cada vez mais dispostos a explorar variedades de cervejas artesanais e produtos inovadores, como as cervejas envelhecidas, impulsionando assim a evolução da cultura cervejeira no país (MAPA, 2022).

Embora a cerveja seja um produto bastante complexo, a matéria prima para a sua produção consiste basicamente em Água (90%), Malte (5 a 8%), Lúpulos (1 a 2 %) e Leveduras (1 a 2 %), onde a cerveja pronta para consumo é composta por 2 a 6% de extrato residual, 2 a 6% de etanol, 0,35 a 0,50% de dióxido de carbono e 90 a 95% de água. Esses valores variam conforme o tipo de cerveja produzido (De keukelerie, 2000; Mosher et al, 2017).

Segundo a portaria SDA-MAPA N°8 de 17 de Janeiro de 2014, entende-se exclusivamente por cerveja envelhecida em madeira a cerveja elaborada com a utilização de recipiente de madeira que confira alteração sensorial à bebida. Sendo a madeira parte do processo e não um ingrediente.

A atribuição de sabores de madeira a uma cerveja constitui um processo de considerável complexidade, influenciado por múltiplos fatores interligados. Esses fatores englobam a seleção dos tipos de madeira empregados, a idade e a proveniência geográfica das mesmas, a qualidade dos processos de tanoaria empregados na confecção dos barris, as técnicas de tosta aplicadas nos recipientes e os usos prévios dos barris em diversas bebidas. Nesse contexto, a complexidade reside na interação dinâmica entre essas variáveis, que confere à cerveja características sensoriais únicas e multifacetadas. (Cantwell & Bouckaert, 2016)

Este estudo tem como objetivo geral a comparação do perfil sensorial e químico de cervejas do estilo Belgian Golden Strong Ale, submetidas a processos de envelhecimento em barris confeccionados a partir de três diferentes tipos de madeira: Amburana (Amburana cearenses), Jequitibá rosa (Cariana Legalis) e Carvalho Francês (Quercus petraea). Esta pesquisa visa avaliar o potencial das madeiras brasileiras em relação à tradicional madeira de carvalho francês no contexto da maturação de cervejas. Para tanto, serão analisados diversos parâmetros sensoriais e químicos, a fim de fornecer uma compreensão abrangente das contribuições de cada tipo de madeira para as características finais da cerveja, contribuindo para a expansão do conhecimento na área de envelhecimento de cerveja em madeiras brasileiras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Matérias-primas para a produção de cerveja

2.1.1. Água

A água desempenha um papel crucial na produção de cerveja, sendo considerada o ingrediente mais importante. Ao longo da história da cerveja, muito foi discutido sobre a qualidade da água e seu impacto na bebida final. Hoje, os cervejeiros têm um controle praticamente total sobre as características da água que utilizam, permitindo o gerenciamento da alcalinidade residual para evitar a extração de taninos e garantir a concentração adequada de minerais como cálcio e magnésio durante o processo de fermentação. Além disso, é possível ajustar o pH e corrigir a composição química da água, entre outros parâmetros, o que pode ter um impacto significativamente positivo na qualidade do produto final (Mosher et al., 2017). Essa capacidade de controlar as propriedades da água é um avanço importante na produção de cerveja, permitindo aos cervejeiros alcançar sabores e características específicas desejadas em suas cervejas.

2.1.2. Malte

O malte é a matéria prima que em condições controladas é obtida decorrente da germinação de qualquer cereal (processo chamado de malteação), sendo o mais comum, o malte da cevada (Machado, 2017).

A utilização da cevada para fabricação de malte e, posteriormente, cerveja, é justificado pelo alto potencial do grão em fornecer nutrientes necessários para as leveduras (Silvello, 2019).

O processo de malteação leva o grão de cevada a induzir sua brotação e inicia o processo de liberação de amido do endosperma (Mosher et al., 2017). Através da utilização da cevada há a ativação das enzimas α e β -amilases. Essas enzimas são responsáveis pela degradação do amido que, durante a produção de cerveja, é transformado em açúcares fermentescíveis. Há ainda a ativação de enzimas proteolíticas, que fazem a quebra das proteínas presentes no mosto e que serão responsáveis pela consistência da espuma e como nutriente para a levedura durante a fermentação (Machado, 2017)

O malte influencia no sabor, odor e na cor das bebidas (Figura 1), devido possuir diferentes formas em relação ao tamanho e a coloração (Curi, 2006).

Mesmos maltes de cores semelhantes podem ter características de aroma e sabor muito diferentes, cada malteiro usa processos que vão refletir em produtos finais distintos (Mosher, 2018).



Figura 1. Diferentes tipos de malte e sua influência na coloração da cerveja.

Fonte: Silva, 2020.

2.1.3. Lúpulo

De sabor característico e propriedades preservativas, é uma planta herbácea perene da família *Cannabaceae*. As primeiras cervejas não continham lúpulo, entretanto essas receitas históricas costumavam usar aditivos para apimentar a bebida, para que não tivesse um sabor tão unidimensional (Mosher et al., 2017). As resinas do lúpulo têm um efeito conservador devido ao seu efeito antibacteriano que afeta bactérias de ácido láctico. Essas características conservadoras levaram o lúpulo a ser a erva dominante na produção de cerveja. Antes do lúpulo a única maneira de conservar, era fazer cervejas com alto teor alcoólico (maior que 10%), e mesmo assim a conservação não era tão eficaz (Mosher, 2018). Além de conservante, o lúpulo também atua como clareador, uma vez que auxilia na precipitação de proteínas no mosto e suas propriedades antibióticas ativas contribuem para estabilidade da cerveja e por fim o teor de pectina que contém no lúpulo aumenta a capacidade de produção de espuma na cerveja (Belitz et al., 2009).

2.1.4. Leveduras

As leveduras são um fungo, organismo eucariótico unicelular, e para a fabricação de cerveja, se reproduzem por um processo de divisão assimétrica, chamado brotamento. São divididas em alta fermentação e baixa fermentação, e a espécie mais comum de leveduras usada no processo de produção de cerveja é a *Saccharomyces cerevisiae*. A qualidade e tipo de levedura tem um impacto significativo no sabor final da cerveja (Mosher et al., 2017).

2.2. Processo de produção de cerveja

Ao longo do tempo, o milenar processo de fermentar um mosto obtido a partir do cozimento de cereais para se obter a cerveja vem sendo aprimorado a cada dia. O produto que conhecemos hoje é muito mais complexo do que simples transformações de moléculas de açúcar em etanol e CO₂ e o processo para sua obtenção começa na escolha do grão a ser utilizado, e passa pelos processos de maltagem do grão, moagem, brasagem, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase (Morado, 2009).

Para produzir o produto final é necessário obter um produto chamado “mosto” que consiste em uma mistura líquida açucarada, que será a base da cerveja. A produção do mosto consiste na primeira fase do processo produtivo, e é onde os maltes e adjuntos são misturados a água e dissolvidos obtendo o mosto, esse processo chama-se Brassagem e será detalhado a seguir (Silva et al., 2008):

- Moagem do malte e dos ingredientes adjuntos em moinhos de rolos ou martelo, para ruptura da casca e liberação do material amiláceo (amido).
- Mistura com água e Aquecimento para facilitar a dissolução (Mosturação);
- Transformação do amido em monossacarídeos (glicose) pelas enzimas do malte. A temperatura máxima é 72 °C para evitar a inativação (desnaturação) dessas enzimas;
- Filtração para separar as cascas do malte e dos adjuntos (tina de clarificação ou filtro prensa) e lavagem da torta (que é o açúcar fermentável). Depois de filtrada, a mostura passa a denominar-se mosto;
- Adição do lúpulo e Fervura do mosto para solubilização de óleos essenciais (aroma) do lúpulo e isomerização dos alfa-hidroxiácidos em isoalfa-hidroxiácidos (responsável pela regulação do amargor da cerveja) – e esterilização;
- Resfriamento, feito em trocadores de calor (9 a 15° C), seguido de aeração (introdução forçada de O₂ atmosférico) – condições ideais para a levedura realizar a fermentação.

A fermentação envolve uma etapa primária e outra secundária, na primária o mosto é resfriado e inoculado com leveduras. O mosto é fermentado até que mais de 90% do extrato fermentável tenha sido convertido. A fermentação primária dura em torno de 7 a 9 dias. (Belitz et al., 2009).

Após a fermentação é necessário, um processo de acondicionamento ou maturação para converter sabores desejados (fermentação secundária ou maturação). As leveduras consomem os carboidratos fermentáveis, produzindo etanol e CO₂, como produtos principais, e ésteres, ácidos e álcoois superiores como produtos secundários. (Mosher et al., 2017).

Uma vez concluída a fermentação, inicia-se a etapa de maturação (fermentação secundária), na qual a cerveja é resfriada a 0° C onde fica de 6 a 30 dias nessa temperatura, variando de uma cerveja para outra. A maior parte da levedura é separada por decantação (sedimentação) durante esse processo de maturação. Pequenas e sutis transformações ocorrem para aprimorar o sabor da cerveja pois essas leveduras também metabolizam substâncias indesejáveis oriundas da fermentação (Mosher et al., 2017). Ao final dessa fase, a cerveja está praticamente concluída com aroma e sabor finais definidos e pronta para o envase. Neste projeto a proposta foi comparar a qualidade da cerveja envelhecida em barris de madeira de Carvalho com duas madeiras brasileiras, Amburana e Jequitibá rosa.

A Figura 2 nos mostra o processo de produção de cerveja.



Figura 2. Fluxograma Básico de uma cervejaria.

2.3. Compostos aromáticos da cerveja

2.3.1. Compostos fenólicos

Na composição química da cerveja, é possível identificar a presença de compostos fenólicos, os quais são inerentes à matéria-prima utilizada no processo de produção. É importante ressaltar que a concentração desses compostos pode variar consideravelmente podendo sofrer influências da tonicidade da cerveja. É relevante notar que tais compostos exercem um impacto significativo nas características sensoriais do produto final, contribuindo para nuances de sabor e aroma. Além disso, esses compostos fenólicos também desempenham um papel crucial na capacidade antioxidante da cerveja, o que é de importância tanto em termos de estabilidade do produto quanto de seu potencial impacto na saúde. Esta associação entre a composição química da cerveja, os compostos fenólicos, as características sensoriais e a atividade antioxidante é amplamente reconhecida na literatura científica, conforme documentado por estudos anteriores, como os conduzidos por Freitas et al. (2006) e Silva, Dias e Koblitiz (2021).

Os compostos fenólicos são caracterizados por suas propriedades de sequestro de radicais livres e pela capacidade de formar complexos com metais de transição, atuando assim na prevenção de eventos oxidativos. Entre os compostos fenólicos amplamente estudados, destaca-se o ácido gálico, ácido caféico e ácido elágico. A relevância dos compostos fenólicos reside em seu potencial para atuarem como agentes anticarcinogênicos e cardioprotetores (Maciel et al., 2013).

2.3.2. Ésteres e álcoois superiores

Na composição dos compostos voláteis identificados na cerveja, os quais estão intrinsecamente ligados aos seus perfis aromáticos, incluem-se os ésteres e os álcoois superiores. Os ésteres, em particular, são notáveis por conferirem um caráter frutado distintivo à cerveja, sendo o acetato de etila o éster predominante na cerveja. Este composto é formado através da reação de esterificação, que envolve o ácido acético e o etanol como reagentes. Por outro lado, os álcoois superiores, gerados durante o processo de fermentação, também desempenham um papel crucial na modelagem dos perfis de aroma e sabor das bebidas. Entre os álcoois superiores mais comuns, destacam-se o n-propanol, o isobutanol, o 2-feniletanol e os álcoois isoamílicos. Cada um desses componentes possui a capacidade de influenciar a formação de aromas e sabores característicos, sendo o álcool isoamílico particularmente responsável pela evocação de notas aromáticas associadas a malte, vinho e banana. (Augusti, et al, 2021; Silvello 2019).

2.3.3. Aldeídos

Os aldeídos representam compostos carbonílicos que exercem uma influência substancial sobre o perfil aromático da cerveja, e sua classificação engloba três categorias distintas, a saber: os aldeídos de Maillard, os aldeídos de Strecker e os aldeídos oriundos da oxidação de ácidos graxos. Entre essas categorias, destaca-se o furfural como o principal aldeído de Maillard. (Augusti, et al, 2021). Embora seja verdade que alguns compostos fenólicos sejam considerados indesejáveis em cervejas, é importante observar que alguns aldeídos fenólicos são, de fato, desejáveis. Esses aldeídos fenólicos estão intimamente associados à madeira e ao processo de fabricação de barris, e são responsáveis por conferir aromas característicos às bebidas envelhecidas (Nachenius et al., 2013).

2.4. Madeira

Podemos citar uma infinidade de elementos que podem ser adicionados a esses insumos básicos para acrescentar sabores, aromas, textura entre outras características no produto final (Mosher, 2018). E a rica flora brasileira conta com inúmeras espécies de madeiras que possuem um potencial enorme de trazer inovação e diversidade a cerveja.

A menção literária e histórica dos barris, ocorre por cerca de mil anos após a Idade Clássica, mas o conhecimento de que a fabricação de cerveja e a produção de vinho continuaram durante a Idade Média nos mostra esse uso de madeiras como barris para acondicionamento dessas bebidas. Os primeiros barris eram feitos de madeiras prontamente disponíveis e eram relativamente maleáveis, como pinheiro, choupas e palmeiras, e surgiram para substituir ânforas de barro. E embora seja milenar o uso de madeira em cerveja nos últimos anos observa-se que o uso de madeira continua popular visto que estatísticas da Associação de Cervejeiros Bart Watson determinou que cerca de 85% de todas as cervejarias americanas em 2015, estavam usando madeira de alguma forma para dar sabor, idade e influenciar algumas de suas cervejas (Cantwell & Bouckaert, 2016).

O processo de tosta é inerente à fabricação de barris. A tosta pode ser considerada a etapa mais importante para a extração de compostos que conferem aromas e sabores à bebida. Sendo a tosta uma aplicação de calor a madeira para torná-la mais flexível, e pode ser feita por túnel de vapor ou com aquecimento acima de um fogo, com água aplicada para evitar a queima (Cantwell & Bouckaert, 2016).

Madeira com tostas leves trazem aromas de frutas para a madeira, já nas torradas média a fruta é dominante; complexidade aromática muito intensa e a partir daí, torradas pesadas são praticamente um acúmulo de aromas picantes e grelhados. Palavras e sabores descritos são Fruta, aroma intenso, complexidade, queimado, apimentado, grelhado. Cada um desses descritores pode ser atribuído a substâncias químicas específicas. Compostos esses que possuem outras propriedades além de simplesmente dar sabor a cerveja e outras bebidas alcoólicas. (Cantwell & Bouckaert, 2016) conforme Figura 3 (Guimarães et al., 2020).

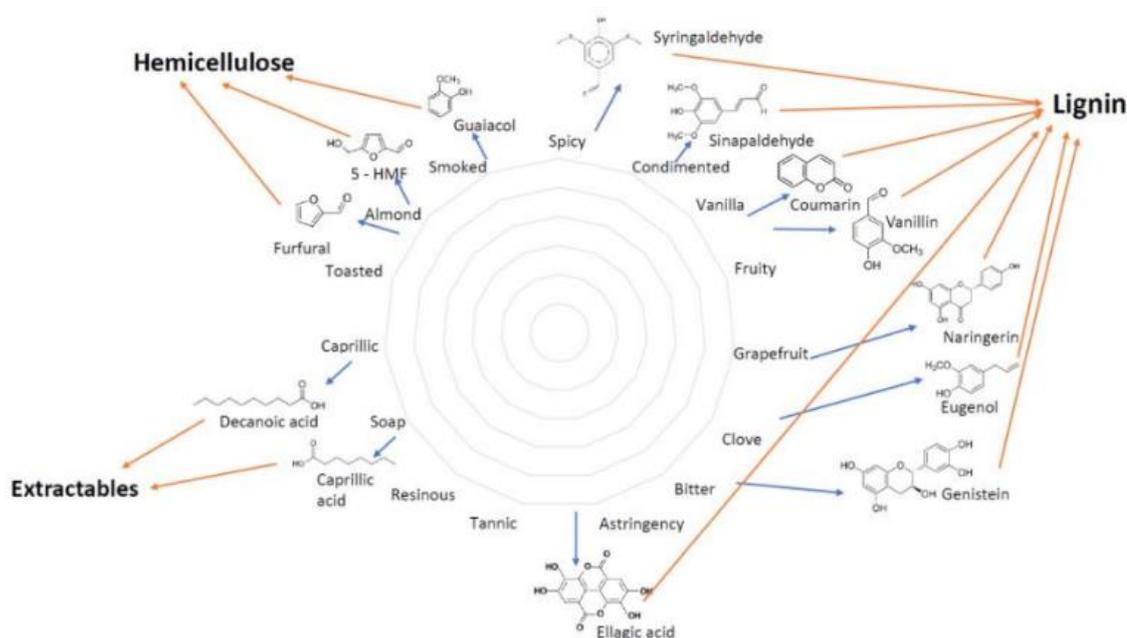


Figura 3. Perfis sensoriais encontrados nas amostras de cerveja.

Fonte: Guimarães et al., 2020.

Diante disso, o projeto buscou acompanhar a evolução na composição química da cerveja envelhecida em madeira de carvalho francês, jequitibá rosa e amburana, e avaliar a influência sensorial desses processos de envelhecimento na cerveja. As amostras serão comparadas química e sensorialmente, tendo como base de análise a cerveja fresca, onde possibilitará avaliar as modificações químicas e sensoriais provindas do envelhecimento.

2.4.1. Envelhecimento em madeira

A madeira é muito utilizada no envelhecimento de bebidas, suas características químico-físicas influem na sua capacidade de produzir bebidas palatáveis e de qualidade, cada espécie de madeira é capaz de compor sabores e aromas específicos (Silvello, 2019).

A escolha da madeira utilizada nos barris deve levar em conta a rigidez, resistência e maleabilidade, para tanto é necessário ainda a análise das fibras e porosidade das mesmas. A porosidade da madeira é o que possibilita a troca entre o externo e o interno (bebida), propiciando a mistura dos gases e a micro oxidação da bebida ao longo do envelhecimento, produzindo um leque de aromas à mesma. Outro aspecto relevante é a extração e degradação de moléculas estruturais da madeira ocasionada pela lignina, etanol e água, ocorrendo a modificação oxidativa dos componentes através da composição física da madeira (Silvello, 2019; Cantwell & Bouckaert, 2016; Singleton, 1995).

2.4.1.1. Vias aditivas

Durante o processo de envelhecimento nos barris ocorre a extração de compostos da madeira pela bebida, este processo é a via aditiva, que possibilita que o líquido inicial (água e etanol) dissolva os ácidos voláteis e não voláteis, ácidos graxos, fenóis voláteis, entre outros. Este processo pode ser superficial ou a penetração da bebida entre as fibras da madeira. Este processo é favorecido através da solubilização ampliado pelas reações de hidrólise, pirólise e oxidação dentro dos barris durante a maturação da madeira e tosta interna dos barris (Silvello, 2019).

Os marcadores de envelhecimento ou congêneres de maturação são compostos que têm sua origem principalmente na quebra da lignina e na oxidação dos compostos aromáticos que são extraídos e adicionados à bebida por vias aditivas. Esse processo de degradação da lignina resulta na formação de substâncias como aldeídos e ácidos (Castro, 2020).

2.4.1.2. Vias subtrativas

De acordo com Castro (2020), a via subtrativa no contexto da maturação de bebidas está intrinsecamente associada a um conjunto de processos. Estes incluem a evaporação de compostos voláteis presentes na bebida, a adsorção de moléculas pelos componentes das fibras da madeira e a decomposição de compostos através de reações de oxidação.

A fim de mitigar a exposição excessiva ao oxigênio durante o processo de maturação de bebidas, é essencial que os barris se mantenham completamente preenchidos com líquido. Conforme o tempo avança, parte desse líquido é gradualmente absorvida pela estrutura da madeira, o que, por sua vez, permite a entrada de ar por meio dos poros da madeira. Estes mesmos poros também facilitam a saída de compostos voláteis, incluindo aqueles de natureza sulfurosa, que são considerados indesejáveis nas bebidas em questão (Reazin, 1981).

2.4.1.3. Vias interativas

O processo de interação entre bebidas fermentadas, como a cerveja, e madeiras, envolve uma terceira via significativa, conhecida como as vias interativas que agem por meio de biotransformação. Nesse contexto, as vias interativas são caracterizadas pela ocorrência de fenômenos metabólicos desencadeados por micro-organismos presentes na bebidas, provenientes da madeira, que atuam de forma simultânea com as ações das enzimas presentes nas bebidas fermentadas. Essa cooperação resulta na transformação dos compostos relacionados ao envelhecimento do produto. Os microorganismos envolvidos nesse processo compreendem as bactérias láticas, as acéticas e as leveduras não convencionais, desempenhando um papel fundamental na alteração das características de sabor e aroma da bebida, conferindo-lhe uma maior complexidade sensorial (Callejo; Gonzalez; Morata, 2017 e Lentz, 2018 apud Andrade, 2022).

2.4.1. Carvalho

A madeira do carvalho sempre foi utilizada para a produção de bebidas alcoólicas, desde a confecção em barris até o transporte das bebidas. Tem alto potencial aromático, destilando os aromas de baunilha, canela, alcaçuz e pimenta. Já a parte interna, quando tostada impacta os sabores de chocolate, caramelo, torrefação de café e pão torrado. Apresenta diferentes formas de utilização, como barril, lascas, cubos, pó, e demais variações (Angeloni, 2016).

A utilização dos barris de carvalho, segundo Angeloni (2016), permitem um armazenamento eficaz da bebida e no período de maturação, ocorrem inúmeras reações entre a madeira e a bebida, como oxidação e esterificação da lignina da madeira, já os compostos fenólicos destinam notas aromáticas, sabor e cor à bebida. Os congêneres de maturação, são compostos de baixo peso molecular e permitem a degradação da lignina, hemicelulose e celulose. Essa degradação forma os aldeídos benzóicos e cinâmicos e por fim, oxidados aos seus ácidos (ácido vanílico e ácido siríngico).

2.4.2. Amburana

Amburana cearensis, também conhecida popularmente como umburana de cheiro ou cumaru, é uma árvore de porte arbóreo que apresenta uma ampla distribuição geográfica na região nordeste do Brasil. A madeira obtida desta espécie é amplamente empregada na indústria

moveleira. Além disso, a Amburana é reconhecida por suas propriedades terapêuticas que a tornam valiosa na medicina popular (Almeida et al., 2010).

As madeiras nacionais apresentam uma alternativa mais viável e ainda proporcionam o desenvolvimento de sabores pelos diversos compostos aromáticos. A amburana (*Amburana cearensis*) muito utilizada na indústria de envelhecimento de aguardente, mostrou-se eficaz envelhecimento de cerveja, onde os barris de amburana apresentou maior aroma amadeirado e, ainda, sabores de mel e caramelo. Essas características podem ser observadas através da composição fenólica e análise do amargor (Silvello, 2019).

Amburana cearensis é uma espécie botânica notável, caracterizada por sua riqueza em compostos diversos, incluindo cumarina, flavonoides e glicosídeos fenólicos. Devido à sua extensa utilização na medicina popular, torna-se imperativo conduzir estudos destinados a compreender e monitorar a sua propagação e cultivo, a fim de evitar riscos associados à sua potencial extinção, como discutido por Almeida et al. (2010).

2.4.3. Jequitibá rosa

Cariniana legalis, também conhecida popularmente como Jequitibá Rosa, enquadra-se no grupo ecológico das espécies secundárias tardias. Sua distribuição geográfica abrange principalmente as regiões sul da Região Nordeste e Sudeste do Brasil. O Jequitibá é frequentemente empregada em ações de recuperação de áreas degradadas devido às suas propriedades ecológicas e potencial para contribuir na restauração ambiental (Rego & Possamai, 2011).

O Jequitibá rosa (*Cariniana legalis*) é uma espécie de madeira nativa do Brasil que tem sido empregada na maturação de aguardentes e outras bebidas. Em um estudo conduzido por Neves (2018), foi constatado que a madeira de Jequitibá apresenta níveis significativamente mais elevados de holocelulose, uma composição que engloba celulose e hemicelulose, ambas capazes de conferir sabores e aromas provenientes dos ingredientes utilizados na produção das bebidas. Além disso, foi observada a presença de ácido gálico na madeira de Jequitibá, e a utilização de seu extrato demonstrou um efeito eficaz na preservação do controle microbiológico. Como resultado, a produção de bebidas que faz uso da madeira de Jequitibá rosa foi reconhecida como tendo características de estabilidade aprimorada e proporcionando uma experiência sensorial mais agradável ao paladar humano (Neves, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

O projeto foi conduzido no Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, em Piracicaba, SP.

3.2. Preparo e envelhecimento da cerveja

Foram produzidos na microcervejaria da ESALQ/USP. um total de 85 litros de cerveja do tipo *Belgian Golden Strong Ale*, receita baseada no livro *Radical Brewing*. Para o envelhecimento em madeira, é aconselhável a escolha de um estilo com um teor alcoólico maior, pensando na sanidade do produto ao longo do tempo (Mosher, 2018).

O produto foi armazenado em seis barris de madeira com capacidade de 10 litros, sendo dois de cada variedade: Amburana (*Amburana cearenses*) e Jequitibá rosa (*Cariniana legalis*), Carvalho Francês (*Quercus petraea*), 15 litros não foram envelhecidos. Os cálculos de produção foram obtidos no software Beer Smith 3.0. O processo detalhado das etapas de produção está descrito abaixo:

Inicialmente 40 quilos de malte Pilsner foram moídos em moedor de rolos para cereais, e em seguida o *grist* (mistura de grão moídos) passou pelo processo de mosturação por infusão em 50 L de água, para que ao final fosse obtido um mosto com alta densidade (21° Plato ou $1,084\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ de extrato original, determinado em refratômetro digital).

A mosturação por infusão foi realizada a partir da mistura do malte moídos em volume de água mantido a $63,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ durante 60 minutos, visando produzir um mosto com maior capacidade fermentescível. Após a sacarificação, ocorreu a elevação da temperatura para $78,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ permanecendo por 5 minutos como preparação para iniciar o processo de clarificação. Em seguida, o líquido foi filtrado à pressão atmosférica usando o próprio bagaço como elemento filtrante. Foi realizada a lavagem do bagaço com quantidade apropriada de água a $78,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ dividida em duas porções até atingir o extrato de 20 ° Plato ($1,086\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Posteriormente, o mosto foi fervido durante 90 minutos.

Logo que a fervura se iniciou, tempo zero, foram adicionados 150 g do lúpulo de amargor da variedade *Northern Brewer* (7% de alfa ácidos). Após o término da fervura, enquanto o mosto ainda estava em alta temperatura, em torno de 95°C , foram adicionados 1,5 kg de um caramelo tradicionalmente usado em cervejas monásticas chamado *candy sugar*, feito com açúcar

cristal, limão e cal virgem, com o propósito de aumentar a *drinkabilidade* da cerveja, pois o açúcar reduz o corpo de cervejas com maior potencial alcoólico, tornando-as mais fáceis de beber. Em seguida foi realizado o vórtice (*Whirlpool*) seguido de repouso durante 20 minutos para a decantação de partículas no fundo da tina.

O mosto foi resfriado até atingir a temperatura de inoculação de 21,7 °C e transferido para o fermentador de fundo cônico de capacidade para 200 L. Ao final, foram obtidos aproximadamente 85 L de mosto a 20 ° Plato (1,086g·cm⁻³), ao qual foram adicionados 105 g de leveduras da cepa Smart #554 (Smartyeast).

A fermentação foi conduzida a 23,5± 0,5°C durante 3 dias e em seguida até a atenuação máxima sob temperatura controlada de a 22,0± 0,5°C. A fermentação foi conduzida até a atenuação máxima onde se buscou atingir densidade de 3,8° Plato (1,015 g·cm⁻³), e atingir o teor alcoólico de 8,6% de etanol (v·v⁻¹) a 20°C. Após a finalização da fermentação, a maturação da cerveja foi conduzida durante 4 semanas a 7 ± 0,5°C em fermentador de fundo cônico e purgas diárias de fermento foram realizadas para eliminar leveduras floculadas e *trub* (borra) frio.

Após a maturação, a cerveja foi colocada em duplicatas de barris de 10 litros das espécies Carvalho Francês (*Quercus petrea*), Amburana (*Amburana cearensis*), e Jequitibá rosa (*Cariniana legalis*)(Figura 4), todos eles de segundo uso, tendo sido utilizados 4 meses no envelhecimento de vinho merlot.



Figura 4. Barris reutilizados de Amburana (à esquerda), Carvalho francês (ao centro) e Jequitibá rosa (à direita) empregados no envelhecimento da cerveja.

O tratamento dos barris de madeira consistiu em hidratação, ou seja, o preenchimento por completo com água clorada para estancar quaisquer vazamentos, seguido da sanitização mediante preenchimento com solução de ácido peracético 4 % e tempo de contato de 24 horas, aporte de vapor (99 °C) durante 15 minutos (Figura 5) e finalmente introdução de álcool 70 % (v·v-1) via aspersão, antecedendo imediatamente o preenchimento com a cerveja. Os tratamentos químico e térmico foram realizados em vista à estabilização biológica da madeira, de forma a eliminar ao máximo os microrganismos nativos da madeira, como leveduras selvagens (Silvello, 2019).



Figura 5. Aporte de vapor a 99° C

Os tonéis de madeira foram mantidos em um freezer sob temperatura controlada de $10,0 \pm 1,0$ °C (Figura 6), onde permaneceram durante o período de envelhecimento de 6 meses.



Figura 7. Cerveja envelhecendo nos Barris a temperatura de 10°C.

A cada semana, foi realizado o monitoramento do teor de umidade utilizando um higrômetro digital. Durante o acompanhamento diário, constatou-se que a umidade oscilou entre 78% e 85%. É importante ressaltar que as condições de temperatura e umidade se mantiveram dentro das diretrizes recomendadas por Cantwell e Bouckaert (2016) para garantir um processo de envelhecimento que minimize as alterações microbiológicas capazes de comprometer as características da cerveja produzida.

Amostras das cervejas envelhecidas foram coletadas mensalmente durante o período de envelhecimento e submetidas às análises de indicadores de qualidade em cerveja que serão descritas a seguir.

3.3. Indicadores de qualidade da cerveja

3.3.1. Cor, Amargor, Extrato real, aparente e original, calorias , gravidade, densidade e CO₂

A análise dos parâmetros químicos, nomeadamente Cor, Amargor, extrato aparente, extrato original, calorias, gravidade, densidade e concentração de dióxido de carbono (CO₂), nas amostras em estudo foi conduzida por meio da utilização do Analisador de Bebidas Envasadas PBA 5001, fabricado pela Anton Paar. Este instrumento é composto por dois módulos principais, o módulo de densidade DMA 5001 e o módulo de medição AlcoLyzer 3001. A resposta correspondente ao parâmetro de cor foi expressa em unidades EBC (European Brewery Convention) (Figura 7), proporcionando uma medida precisa da coloração das amostras. Da mesma forma, para a avaliação do amargor, a resposta foi apresentada em EBU's (European

Bitterness Units - Unidades de Amargor Europeia), permitindo uma quantificação da percepção de amargor nas amostras.

MACRO DIVISÃO	SRM	TONALIDADE	EBC	CLASSIF.**
Palha	2 - 3		3,94 - 5,91	Cerveja Clara até 20 EBC
Amarelo	3 - 4		5,91 - 7,88	
Ouro	4 - 5		7,88 - 9,85	
Âmbar	6 - 9		11,82 - 17,73	
Profundo âmbar / cobre luz	10 - 14		19,70 - 27,58	
Cobre	14 - 17		27,58 - 33,49	Cerveja Escuro ≥ 20 EBC
Profundo cobre/castanho claro	17 - 18		33,49 - 35,46	
Castanho	19 - 22		37,43 - 43,34	
Castanho Escuro	22 - 30		43,34 - 59,10	
Castanho muito escuro	30 - 35		59,10 - 68,95	
Preto	35 +		68,95 - 78,80	
Preto opaco	40+		>78,80	

Figura 8. Coloração da produção de cerveja nas macro divisões.

Fonte: Spiess (2016) adaptado de BJCP Guideline (2008).

3.3.2. pH, Acidez volátil e acidez total

A determinação do pH das amostras foi efetuada utilizando um pHmetro digital (modelo DMPH-1 Digimed – Tecnal), por meio da imersão direta do eletrodo nas amostras de cerveja previamente desgaseificadas.

A análise da acidez total foi conduzida por meio da titulação com solução de NaOH a 0,1N, realizada na solução de cerveja diluída em água destilada, até que o pH da solução atingisse o valor de 8.2, momento em que o volume de hidróxido de sódio gasto para atingir tal pH era registrado. Para o cálculo da acidez total, expressa em miliequivalentes por litro (meq/L), utilizou-se a seguinte equação:

$$AT = \frac{(Vg \times F \times N \times 49)}{v}$$

No qual:

AT é a Acidez total (g de ácido sulfúrico/L)

Vg representa o volume de NaOH gasto na titulação (ml),

F fator de correção da concentração da solução de NaOH,

N denota a normalidade da solução de NaOH,

49 Equivalente do ácido sulfúrico

v = volume da amostra (mosto ou vinho) empregado na análise.

A determinação da acidez volátil, por sua vez, foi realizada através da destilação por arraste de vapor utilizando uma câmara de destilação Redutec. Inicialmente, 20 mL da amostra de cerveja foram coletados para a análise, aos quais foram adicionadas 3 gotas de Fenolftaleína 1%. A titulação foi então conduzida com uma solução de NaOH 0,5N, sob agitação constante, até atingir o ponto de viragem, caracterizado pela estabilização da cor rósea por um período de 10 segundos. O volume de NaOH 0,5N gasto durante a titulação foi registrado e utilizado para calcular a concentração de acidez volátil, expressa em meq/L, por meio da seguinte fórmula:

$$AV = \frac{(Vg \times f \times F \times N \times 60 \times 100)}{v}$$

No qual:

AV = acidez volátil (mg de ácido acético/100mL)

Vg = volume de solução de NaOH gasto na titulação (ml)

f = fator de padronização da metodologia

F = fator de correção da concentração da solução de hidróxido de sódio

N = normalidade da solução de NaOH

60 = equivalente do ácido acético

100 = fator de conversão para mg/100mL

v = volume da amostra (ml)

3.3.2.1. Teste de hipótese análises de pH, acidez volátil e acidez total

No contexto das análises de pH, acidez total e acidez volátil, um desafio se apresentou devido às limitações inerentes ao experimento, que não permitiram a obtenção de um número significativamente elevado de repetições para cada amostra. Essa restrição de amostras limitou a capacidade de realizar análises paramétricas por meio de testes de hipóteses convencionais. Para superar essa limitação e viabilizar a comparação entre as leituras realizadas em diferentes momentos do experimento, foi implementada uma estratégia de normalização dos dados em períodos específicos. Essa abordagem visou aumentar a densidade amostral, permitindo assim a aplicação do teste de hipótese de forma mais robusta.

Mediante essa transformação, todas as amostras foram tratadas como repetições individualizadas, o que possibilitou a realização de testes de hipóteses para avaliar diferenças

significativas entre grupos ou momentos específicos. Essa estratégia metodológica permitiu uma análise estatística mais precisa e elucidativa das variações observadas nos parâmetros estudados ao longo do experimento, apesar das limitações iniciais.

3.3.3. Análise de fenólicos totais

A quantificação da concentração de compostos fenólicos totais nas amostras foi realizada por meio de espectrofotometria, empregando uma leitura de transmitância a 765 nm. Este procedimento foi realizado após a diluição das amostras em uma razão de 1:20 e a subsequente reação com o reagente de Folin-Ciocalteu, seguindo o método descrito por Amerine e Ough (1980). A concentração resultante dos compostos fenólicos totais foi expressa em miligramas de ácido gálico por litro (mg/L).

Para a construção da curva analítica utilizada na quantificação, foi empregada a seguinte equação linear:

$$C = -0,7432 \times \text{Log}T + 1,4762$$

No qual:

C é a concentração dos compostos fenólicos totais em miligramas por 100 mililitros, e

T corresponde aos valores de transmitância obtidos nas leituras espectrofotométricas.

A utilização dessa equação permitiu a conversão dos dados de transmitância em valores quantitativos de concentração, possibilitando assim a determinação dos compostos fenólicos totais nas amostras analisadas.

3.4. Análise sensorial

As cervejas foram submetidas a testes sensoriais para comparação das amostras, sendo somente utilizadas as cervejas após o sexto mês de envelhecimento.

Antes da realização das análises sensoriais, os participantes preencheram um termo de consentimento, de acordo com o previsto pelo Comitê de Ética (Apêndice A), declarando que são maiores de idade, não ser dependente ou apresentar qualquer problema de saúde com ingestão de bebida alcoólica e que concordavam em participar da pesquisa. Além disso, a pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética, sob número CAAE: 65315622.9.0000.5395.

Os testes foram realizados no Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Bebidas – ESALQ/USP. Os recursos para essas análises foram provenientes do Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Bebidas.

Antes da análise, ocorreu uma sessão de degustação com os membros do laboratório para levantamento de atributos encontrados nas amostras de cerveja envelhecida, atributos esses de aroma, sabor, cor, sensação na boca e corpo das cervejas, sendo esses atributos os que compuseram o questionário CATA utilizado na análise.

Os termos foram selecionados avaliando-se a frequência com que todos encontraram e, foram eliminados os termos sinônimos ou pouco citados de forma consensual entre todos, totalizando 32 termos, como descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Termos selecionados para o questionário CATA

Termos	
Aparência	Sensação na boca
Cor âmbar clara	Corpo leve
Cor âmbar escura	Encorpada
Cor marrom	Sensação alcoólica
Turva	Espuma persistente
Sabor	Aroma
Salgada	Aroma cítrico
Doce	Aroma de especiarias
Azeda	Aroma de damasco
Amarga	Aroma de acetona
Sabor de caramelo	Aroma de canela
Sabor de melão	Aroma de coco
Sabor cítrico	Aroma de baunilha
Sabor medicinal (remédio)	Aroma de madeira
Sabor de baunilha	Aroma medicinal (remédio)
Sabor de coco	Aroma de levedura (fermento)
Sabor de frutas secas	Aroma de malte
Sabor de damasco	
Sabor de carambola	

A análise ocorreu em 1 (uma) sessão, com 5 (cinco) amostras com 30 ml de cerveja envelhecida para cada pessoa que participou da análise.

3.4.1. Provedores

Para compor o quadro de provedores foram recrutados ambos os sexos, sendo os critérios utilizados para inclusão de avaliadores, os indivíduos serem apreciadores do produto, e

se declararem habituados ao consumo de bebidas alcóolicas. Como critério de exclusão, foram considerados os indivíduos que declararam idade abaixo de 18 anos e acima de 70 anos, pesem menos de 60kg, portadores de doenças crônicas, gravidez ou em estado de amamentação, que façam o uso de algum medicamento e os que não apreciam o produto ou que o consumam em excesso.

3.4.2. Amostras

As avaliações sensoriais foram fundamentais para a determinação das principais características de qualidade com relação aos diferentes tipos de madeiras utilizadas. Foram utilizadas uma amostra de carvalho francês, uma de jequitibá rosa e duas de amburana, referente aos dois barris da mesma madeira, (somando quatro amostras). Além destas, também foi utilizada a amostra de controle, contendo a mesma cerveja, porém, sem passar pelo processo de envelhecimento. A análise foi realizada em 01 sessão, onde cada provador recebeu cinco taças ISO contendo 30 mL de cerveja em torno de 7,0% ABV.

A aleatorização das amostras de cerveja foi realizada segundo o delineamento Quadrado-Latino de Williams, conforme Williams, (1949).

3.4.3. Metodologia

As metodologias utilizadas foram o questionário CATA, aceitação em escala hedônica e escala do Ideal, onde foi possível obter informações a respeito das principais características de cada uma das amostras pois o provador selecionou os atributos que considerou mais evidentes em cada amostra (por exemplo, aroma cítrico, sabor de coco, cor âmbar, entre outros) e também da aceitação do provador em relação a aroma, sabor, aparência, sensação na boca e aspecto geral, assim como definir para ele o que achava ideal em relação a amargor, carbonatação, aparência e a intensão de compra do produto.

3.4.3.1. Aceitação em escala hedônica

No questionário que cada participante recebeu, continham algumas perguntas de aceitação em escala hedônica, onde eles tinham que responder em uma escala de 1 a 9, sendo 1

respectivo a desgostei muitíssimo e 9 a gostei muitíssimo, sendo orientados a responder a opção que mais se adequava a amostra recebida.

As perguntas feitas na escala de aceitação da escala hedônica, foram a respeito de aceitação de maneira geral, aparência, aroma, sabor e sensação na boca, assim como mostra o questionário da análise sensorial (Apêndice 2).

Para o resultado substituímos cada termo hedônico pelo seu respectivo valor, de forma decrescente do escore 9 (gostei muitíssimo) e ao escore 1 (desgostei muitíssimo).

3.4.3.2. Teste escala do ideal

Foram utilizados no questionário, perguntas na escala do ideal em relação a carbonatação, amargor, cor e percepção de aroma de madeira nas amostras de cerveja, onde o provador podia selecionar, por exemplo, se a amostra tinha o amargor ideal que ele gostava, mais amargor do que a ideal, muito mais amargor que a ideal, assim como menos amargor e muito menos amargor do que ele considera ideal, assim como mostrado no questionário da análise sensorial (Apêndice 2)

Para o resultado substituímos cada resposta pelo seu respectivo valor, de forma decrescente do escore 5 (Muito mais do que o ideal) e ao escore 1 (Muito menos que o ideal), sendo 3 o escore do Ideal.

3.4.3.3. Check All That Apply (CATA)

A metodologia *Check-All-That-Apply* (CATA) tem sido amplamente adotada como a técnica principal para coletar informações sobre como os consumidores percebem as características sensoriais dos produtos. O formato das questões CATA possibilita que os consumidores selecionem todos os atributos que considerem pertinentes para descrever o produto a partir de uma lista fornecida (ALCANTARA et al, 2018).

3.4.3.4. Análise dos dados sensoriais

As avaliações dos consumidores foram combinadas em uma planilha para análise. Os dados de aceitação foram analisados por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, com nível de confiança de 95%. Os dados das questões do CATA foram submetidos ao teste Q de Cochran, procedimento de diferença crítica (Sheskin) e análise de correspondência, com nível de

confiança de 95%. A análise estatística foi feita com o software XLStat (versão 2021.3.1.1159). (Meyners, et al., 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises químicas

4.1.1. Teor alcoólico

Após os 6 meses de envelhecimento, o teor alcoólico da cerveja reduziu, cerca de 1,01% em relação ao teor da cerveja não envelhecida. Desta forma, pode-se constatar que houve uma perda de 0,17% ao mês em valores absolutos (Figura 8).

A cerveja maturada em barris de Jequitibá Rosa obteve maior perda de teor alcoólico, 2% em relação ao valor inicial. A cerveja envelhecida em madeiras de Carvalho e Amburana reduziram, em média, 0,85% e 1,0%, respectivamente.

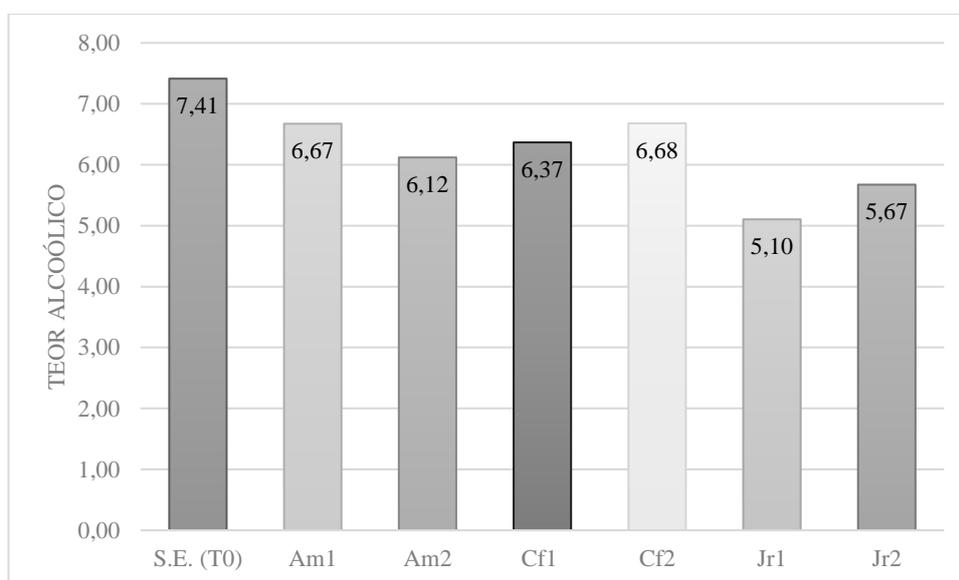


Figura 10. Teor alcoólico das cervejas envelhecidas após 6 meses em barris de madeira de diferentes espécies (S.E. (T0) – cerveja não envelhecida, Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Esses resultados estão de acordo com Singleton (1995), que explicou que devido as fibras da madeira passarem por um processo de secagem, no início do envelhecimento, a bebida, ao entrar em contato com essas fibras, é absorvida por elas, e devido à maior volatilidade da molécula do álcool, ele é absorvido mais rapidamente em relação a água, reduzindo o teor alcoólico da bebida no barril, porem parte desse teor alcoólico retorna ao barril por um processo dinâmico que acontece, trazendo também compostos extraídos da madeira. É importante também considerar o teor alcoólico que é perdido pela evaporação no ambiente.

4.1.2. Amargor

O amargor das amostras analisadas, mostrou uma queda significativa nas madeiras de carvalho francês e jequitibá rosa, já em relação a amburana, o amargor se mostrou maior do que a cerveja que não foi envelhecida, que pode ser observado na Figura 9.

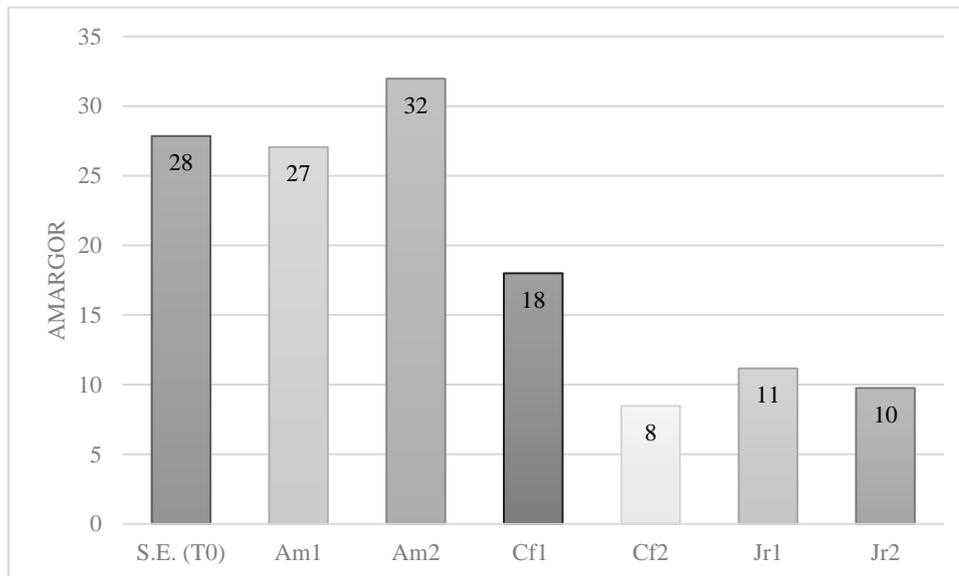


Figura 11. Amargor das cervejas envelhecidas após 6 meses em barris de madeira de diferentes espécies (S.E. (T0) – cerveja não envelhecida, Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Quanto a queda significativa do amargor nas madeiras de carvalho francês e jequitibá rosa, Angeloni (2016) também observou uma diminuição significativa no amargor das cervejas em carvalho. Já em relação a amburana, o amargor se mostrou maior do que a cerveja que não foi envelhecida, assim como constatou Silvello (2019), a cerveja envelhecida em barris de amburana, apresentaram as maiores médias de amargor durante todo o período de envelhecimento.

A cerveja não envelhecida apresentou um amargor de 28 IBU, enquanto no carvalho francês foi de 9,5 IBU, e o jequitibá rosa 10,5 IBU, e em relação a amburana, a única madeira que se apresentou diferente das outras, aumentando o amargor da cerveja, foi medido um valor de 29,5 na médias dos dois barris utilizados no experimento.

4.1.3. Coloração

A análise da coloração da cerveja foi conduzida seguindo os procedimentos recomendados pela European Brewery Convention (EBC) de 1987, cujos protocolos são amplamente aceitos como padrão na indústria cervejeira.

A análise da coloração da cerveja, expressa em unidades de EBC, revelou um aumento significativo em todas as madeiras submetidas a estudo, conforme evidenciado na Figura 10. Especificamente, constatou-se que o incremento na coloração foi mais pronunciado nos barris de carvalho francês e amburana. Este fenômeno encontra respaldo em estudos anteriores, como o trabalho conduzido por Corniani (2017), que observou um aumento semelhante na coloração de cachaças submetidas ao envelhecimento em barris de carvalho francês, corroborando as conclusões alcançadas no presente estudo.

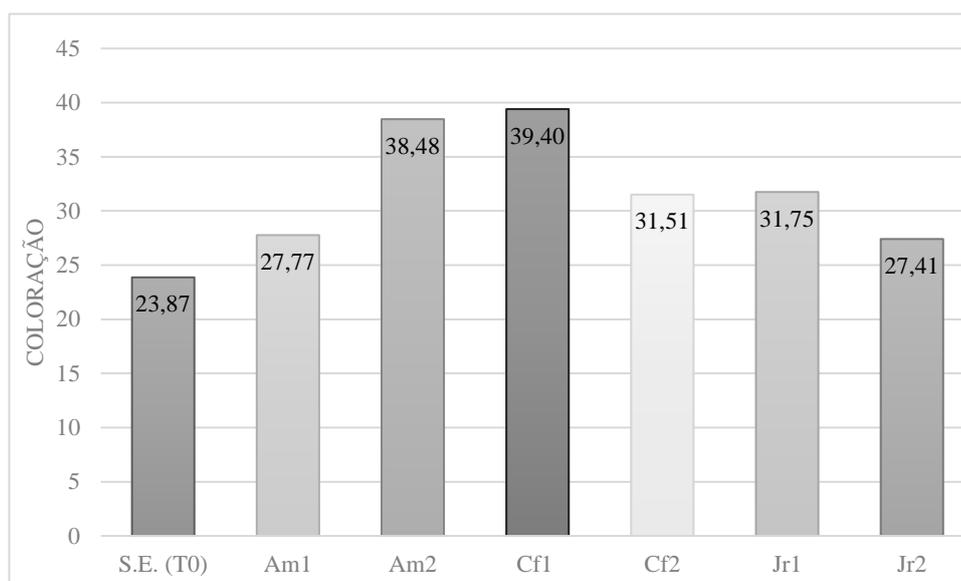


Figura 12. Coloração das cervejas envelhecidas após 6 meses em barris de madeira de diferentes espécies (S.E. (T0) – cerveja não envelhecida, Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Para fins de contextualização, a análise quantitativa da cor revelou que a amostra de cerveja não envelhecida apresentou um valor de 24 EBC, enquanto que, nos barris estudados, os valores médios obtidos foram de 35,25 EBC para o carvalho francês, considerando a média dos dois barris utilizados no experimento, 33,15 EBC para a amburana e 29,6 EBC para o jequitibá rosa. A Figura 10 exibe uma representação gráfica da escala de coloração em unidades de EBC.

4.1.4. Análise de componentes principais (PCA) dos atributos químicos analisados

Nesta fase inicial da análise, foram examinados diversos atributos químicos, incluindo Cor, Amargor, Teor Alcoólico, Extrato Original, Extrato Real, Extrato Aparente, Densidade, Gravidade, CO₂ e Calorias. Ao avaliar a variância desses atributos químicos nos barris tanto no momento inicial (tempo 0) quanto após 6 meses de armazenamento, identificamos por meio da

análise de componentes principais que mais de 90% da explicação da variância total está concentrada nas três primeiras dimensões. (Figura 11). Portanto, optamos por explorar minuciosamente essas três dimensões a fim de investigar o comportamento específico de cada atributo químico e compreender como eles evoluem ao longo do período de armazenamento em diferentes tipos de barris.

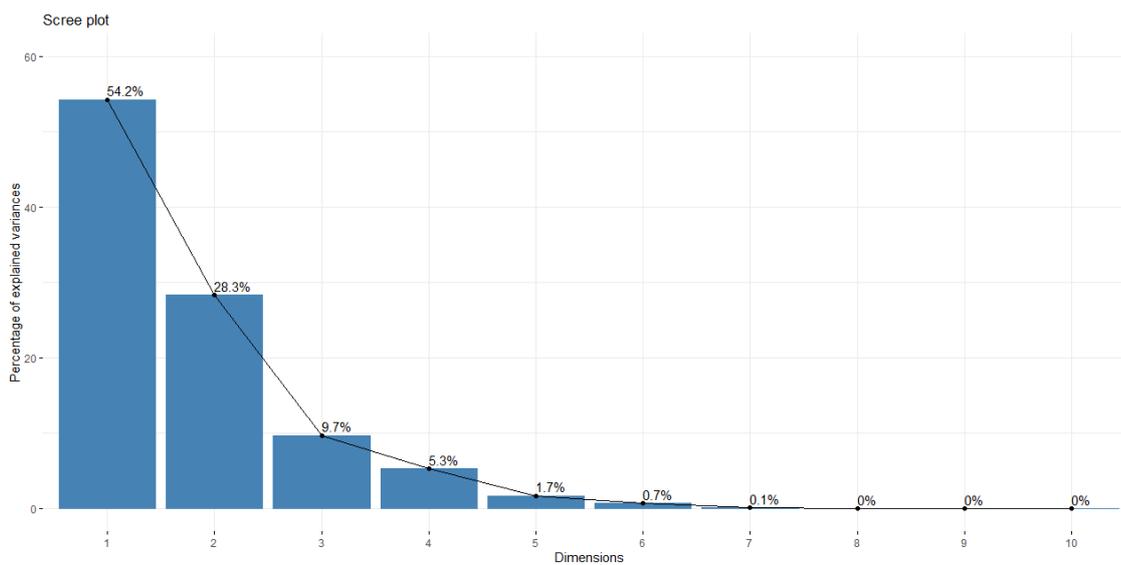


Figura 13. *Screen plot* das dimensões.

Ao procedermos com a representação gráfica do comportamento de cada atributo em relação às duas primeiras dimensões, conforme ilustrado na Figura 12, torna-se possível discernir a existência de algumas correlações negativas significativas. Notavelmente, identificamos uma correlação inversa entre a presença de CO₂ e a gravidade específica, sugerindo um impacto inversamente proporcional entre esses dois atributos. Além disso, observamos uma relação negativa entre a coloração (Cor) e o teor alcoólico (% de álcool), o que sugere que a tonalidade da cerveja e seu teor alcoólico apresentam uma relação inversa, onde o aumento de um está associado à diminuição do outro.

Os resultados obtidos sugerem que o processo de envelhecimento das cervejas adotado neste estudo apresentou características que divergem das expectativas tradicionalmente associadas ao mercado nacional de cervejas em relação à cor e ao teor alcoólico, onde geralmente esses atributos tem uma relação positiva. Esta observação está alinhada com as descobertas de Coelho Neto et al. (2022), que conduziram uma análise abrangente de várias amostras de cervejas artesanais e industriais, destacando que as cervejas com tonalidades mais leves geralmente incorporam adjuntos no seu processo de produção, acarretando uma menor concentração de

aminoácidos e carboidratos derivados do malte no mosto, que são propensos à reação de Maillard, conferindo assim uma coloração mais intensa. Por outro lado, em relação ao teor alcoólico, observou-se que as cervejas artesanais fabricadas exclusivamente com malte de cevada tendem a apresentar uma eficiência superior no processo de fermentação, resultando em teores alcoólicos mais elevados.

No entanto, a análise conduzida neste estudo sugere que o processo de envelhecimento pode, de certa forma, inverter essa tendência, sendo que as cervejas envelhecidas se destacaram por apresentar uma coloração mais intensa e com teor alcoólico menor. A coloração aumentar com o envelhecimento é um fenômeno documentado por diversos autores, incluindo Corniani (2017) e Bortolletto (2016) e corroborado pelos resultados desta pesquisa, nos quais todas as madeiras estudadas demonstraram contribuir significativamente para o aumento da coloração das cervejas. Quanto aos teores alcoólicos, verificou-se que eles se apresentaram mais baixos em comparação às amostras não envelhecidas, um fenômeno que também encontra respaldo na literatura, conforme explicado por Singleton (1995). Esse decréscimo no teor alcoólico pode ser atribuído à adsorção pelas fibras da madeira, à medida que a bebida envelhece, e à perda gradual de álcool devido à evaporação para o ambiente durante o processo de envelhecimento. Esses resultados ressaltam a complexidade do processo de envelhecimento de cervejas em barris de madeira e a diversidade de fatores que influenciam as características finais das cervejas envelhecidas.

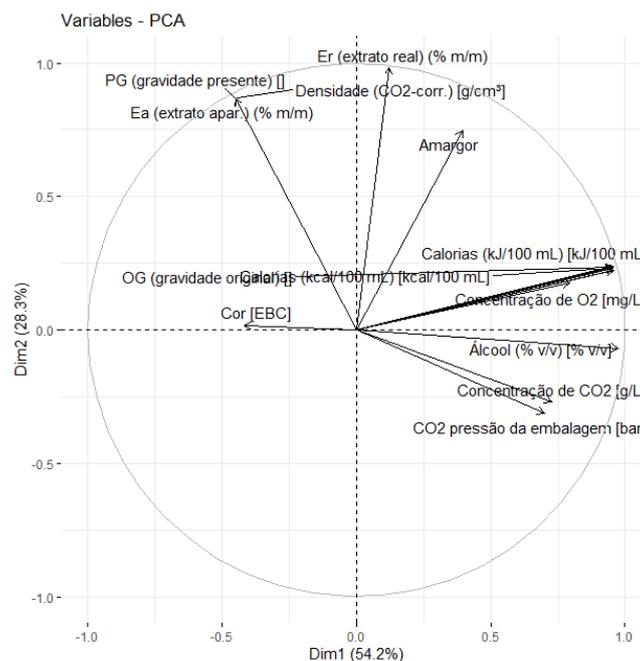


Figura 14. Contribuição dos parâmetros químicos estudados nas dimensões 1 e 2.

Como próximo passo na análise, aprofundaremos nossa investigação no aspecto qualitativo das três dimensões a fim de determinar quais atributos se destacam como os mais representativos. Para alcançar esse objetivo, adotamos o indicador Cos^2 , o qual revela o grau de correlação de cada atributo com as dimensões em análise. Valores próximos a 1 indicam uma correlação mais significativa com as dimensões estudadas.

Ao considerar as dimensões Dim1 e Dim2, identificamos um conjunto substancial de variáveis que se destacam como representativas da interação entre essas duas dimensões. Entre os atributos que merecem destaque nesse contexto estão:

- ER (Extrato Real)
- Calorias
- Gravidade
- Extrato Original
- Teor Alcoólico
- Densidade
- Ea (Extrato Aparente)

Esses atributos, com valores de Cos^2 mais próximos de 1, demonstram uma forte correlação com as dimensões Dim1 e Dim2, sugerindo que desempenham um papel significativo na representação da variância observada nessas dimensões (Figura13).

Observamos que os maiores valores de Cos^2 são atribuídos à variável "extrato real". Essa constatação enfatiza a importância dessa variável na avaliação da qualidade das cervejas, uma vez que, de acordo com Pinto et al. (2015), uma cerveja é considerada de boa qualidade quando apresenta um teor mínimo de 3% de extrato real.

Portanto, essas variáveis emergem como as mais relevantes na análise qualitativa das dimensões e fornecem informações sobre a interação e as relações entre os diferentes atributos químicos considerados neste estudo.

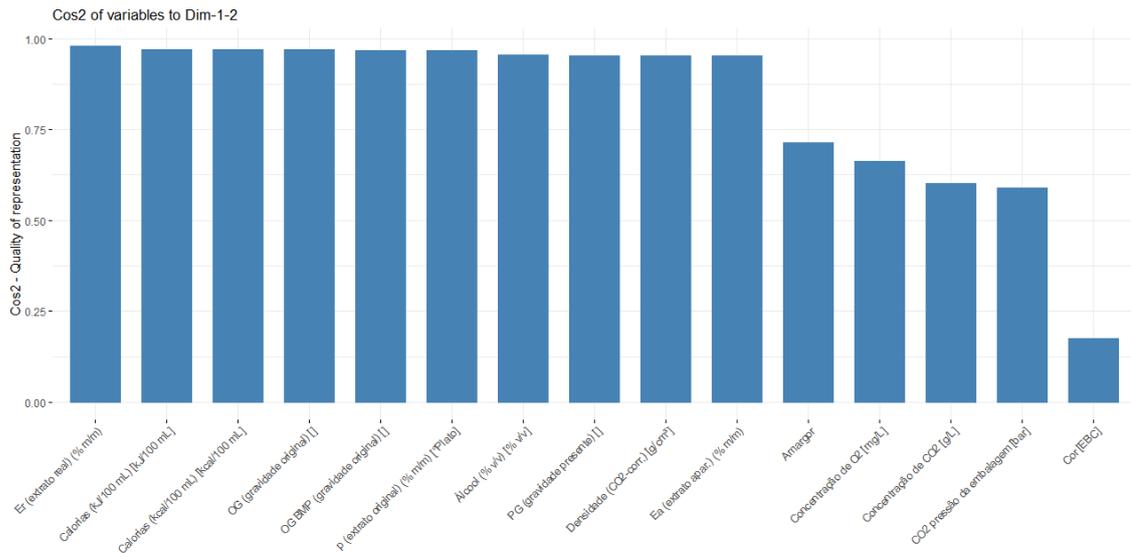


Figura 15. Cos² das variáveis de acordo com as dimensões 1 e 2.

Quando descemos um nível e analisamos a interação da 1^a e 3^a dimensão (Figura 14) observamos um comportamento diferente, onde a maior representatividade fica com o atributo Álcool (>95%), seguido de um segundo grande grupo contendo os atributos gravidade original, extrato original e calorias. Vale destacar que valores de Cos² superior a 0,75 já considerados elevados, no entanto, a interação da dimensão 1-3 fornece uma maior variabilidade entre os atributos quando comparado ao primeiro cenário.

Quando realizamos uma análise mais aprofundada, considerando a interação entre a 1^a e a 3^a dimensão (conforme apresentado na Figura 14), é evidente um comportamento distinto, onde a maior representatividade é atribuída ao parâmetro "Álcool" (com mais de 95% de representatividade). Em seguida, observa-se a formação de um segundo grupo significativo, englobando os atributos "Gravidade Original," "Extrato Original," e "Calorias." É importante ressaltar que valores de Cos² superiores a 0,75 são considerados substancialmente elevados, indicando uma forte correlação entre os atributos e as dimensões analisadas. No entanto, é notável que a interação entre a dimensão 1 e a dimensão 3 proporciona uma maior variabilidade entre os atributos em comparação com o cenário anterior, enfatizando a complexidade das relações entre esses atributos e as dimensões subjacentes.

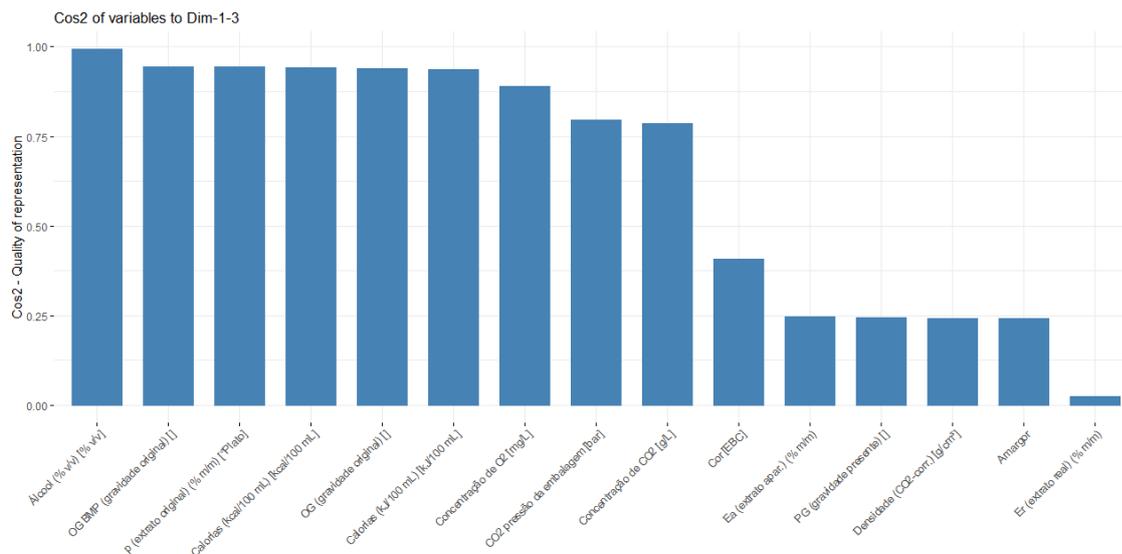


Figura 16. Cos² das variáveis de acordo com as dimensões 1 e 3.

A última interação na dimensão 2-3 (Figura 15) se destaca por seu comportamento singular e notável. Nesse contexto, emerge uma divisão clara de representatividade entre os atributos de estudo, culminando na formação de três categorias distintas.

A primeira categoria concentra-se no "extrato real" e aborda medidas relacionadas à concentração ou quantidade real de substâncias presentes na amostra. A segunda categoria engloba as variáveis de "Densidade", "PG" (Gravidade presente) e "Ea" (Extrato aparente), onde são agrupadas as medidas que avaliam a gravidade presente na amostra, juntamente com a percepção do extrato aparente. Por fim, a terceira categoria, denominada "Amargor", abrange medidas relacionadas à intensidade do sabor amargo. Os demais atributos apresentaram um valor de Cos² inferior a 0,50, se mostrando pouco representativo.

Essa divisão de atributos proporciona uma compreensão mais aprofundada das complexas interações presentes na dimensão 2-3.

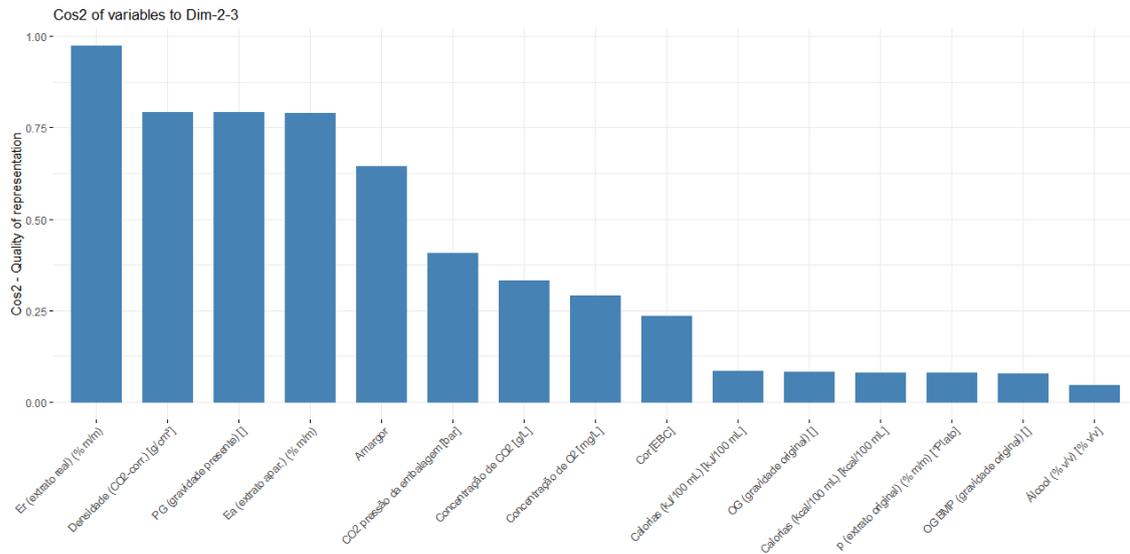


Figura 17. Cos² das variáveis de acordo com as dimensões 2 e 3.

Após um estudo aprofundado das interações nas dimensões em questão, nosso próximo enfoque recai na análise individualizada de cada dimensão, com o propósito de examinar minuciosamente os principais atributos que exercem influência significativa, bem como os atributos que apresentam impacto reduzido.

4.1.4.1. Aprofundamento dentro das dimensões

Na Dimensão 1 (Figura 16), é perceptível que o atributo que mais se destaca em termos de contribuição é o teor alcoólico (V%), seguido de extrato original e gravidade original. Em contrapartida, constatamos que os atributos Cor, Amargor e extrato real exibem uma contribuição substancialmente menor para esta dimensão, sugerindo, possivelmente, um efeito reduzido dos barris sobre essas características na cerveja. Essa observação evidencia a influência diferencial dos atributos na Dimensão 1, com ênfase na importância do teor alcoólico e outros parâmetros em comparação com os mencionados atributos.

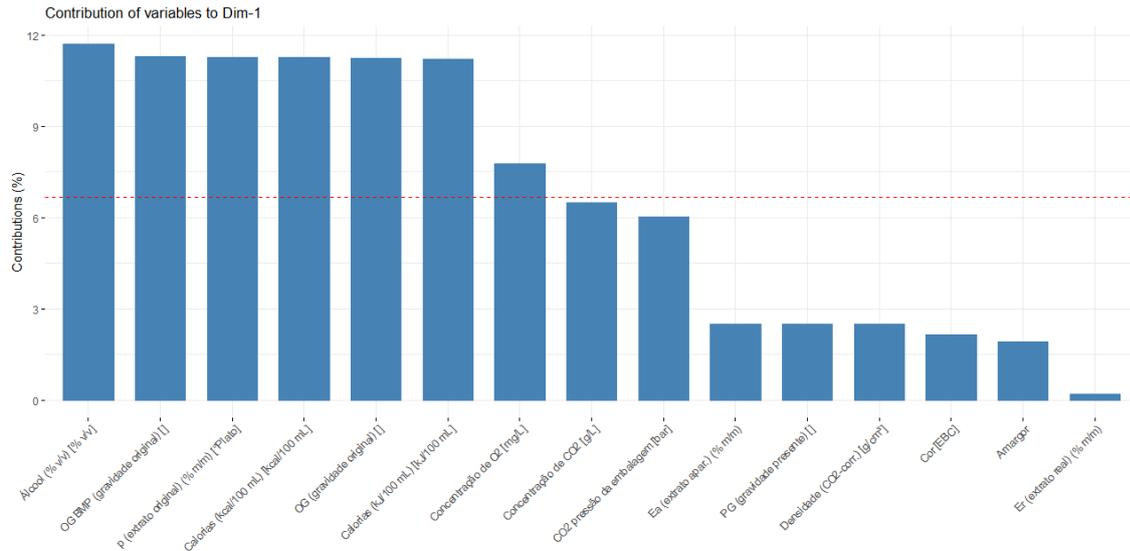


Figura 18. Contribuição das variáveis estudadas na dimensão 1.

Na Dimensão 2 (Figura 17), destacam-se de forma proeminente o atributo "Extrato Real", o qual assume a posição de maior influência, seguido por um segundo grupo que compreende quatro atributos significativos: "Densidade", "Gravidade Presente", "Extrato Aparente" e "Amargor". Notavelmente, mesmo que os atributos de maior contribuição tenham variado em relação à Dimensão 1, é interessante observar que o atributo "Cor" mais uma vez se revela com uma relevância diminuta nesta segunda dimensão. Essa constatação evidencia a persistência de um padrão onde o atributo "Cor" parece ter uma influência limitada nas características em análise, independentemente da dimensão considerada.

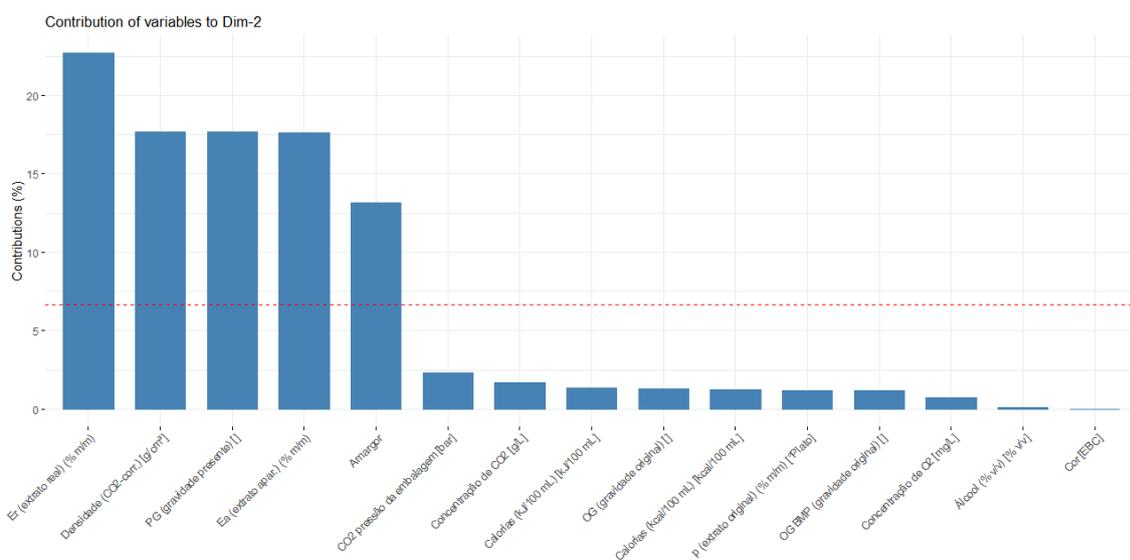


Figura 19. Contribuição das variáveis estudadas na dimensão 2.

Na última dimensão avaliada, a terceira (Figura 18), a variável "Pressão de Embalagem" aparece como o fator de maior relevância, seguida pelas concentrações de dióxido de carbono (CO₂) e oxigênio (O₂), além do atributo "Cor". Notavelmente, é na 3ª dimensão que o atributo "Cor" manifesta seu impacto significativo, destacando-se como uma exceção em relação às dimensões anteriores. Apesar das contribuições de peso observadas para esses atributos na 3ª dimensão, é fundamental ressaltar que a capacidade explicativa da variância nessa dimensão permanece relativamente baixa, abaixo de 10%. Essa constatação sublinha a complexidade das interações subjacentes à 3ª dimensão e a necessidade de um estudo mais aprofundado para compreender completamente seus determinantes.

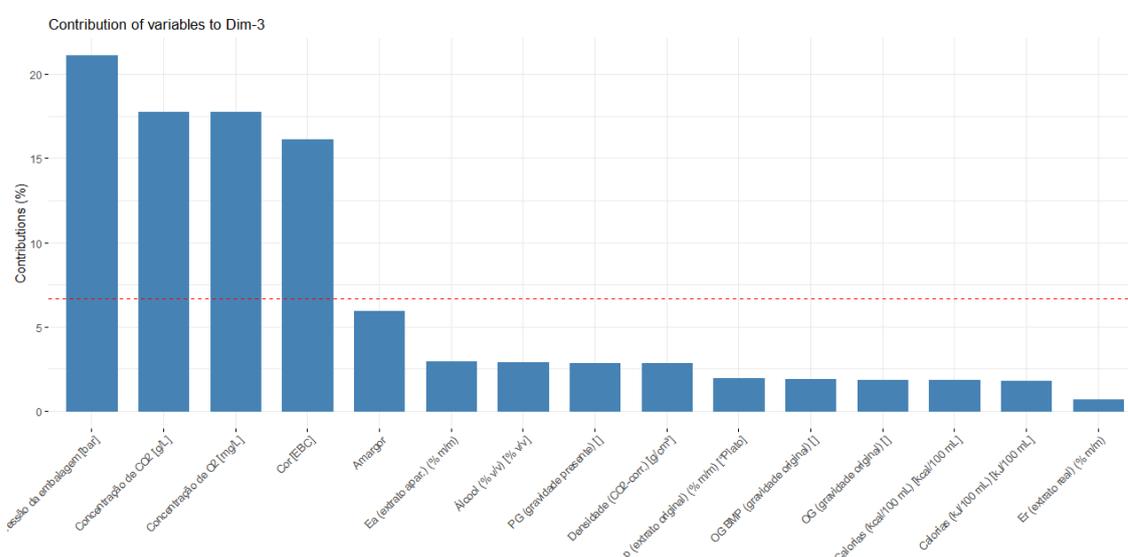


Figura 20. Contribuição das variáveis estudadas na dimensão 3.

4.1.4.2. A distribuição dos tratamentos perante os atributos mais relevantes

Após uma análise detalhada das dimensões que possuem maior capacidade de explicar a variância observada, bem como dos atributos que mais contribuem para cada uma dessas dimensões, procederemos com a representação gráfica do comportamento dos tratamentos em relação aos atributos "Er", "Álcool" e "Pressão de Embalagem", os quais emergiram como os principais contribuintes em cada dimensão de nosso estudo.

A Figura 19, apresentada na sequência, revela um panorama interessante. Destaca-se a notável tendência dos barris de Jequitibá em apresentar um comportamento mais sinérgico entre suas repetições, contrastando com os demais tratamentos que exibem variações mais pronunciadas. Além disso, um aspecto que chama atenção é a distinção significativa de um dos

barris de Amburana em relação aos outros tratamentos, enquanto o segundo barril de Amburana demonstra uma notável semelhança com o barril de carvalho francês (Cf2). Por fim, é incontestável que o tratamento controle se posiciona de maneira substancialmente distante de todas as amostras que passaram pelo processo de envelhecimento, sugerindo um impacto marcante das variáveis analisadas nesse contexto específico.

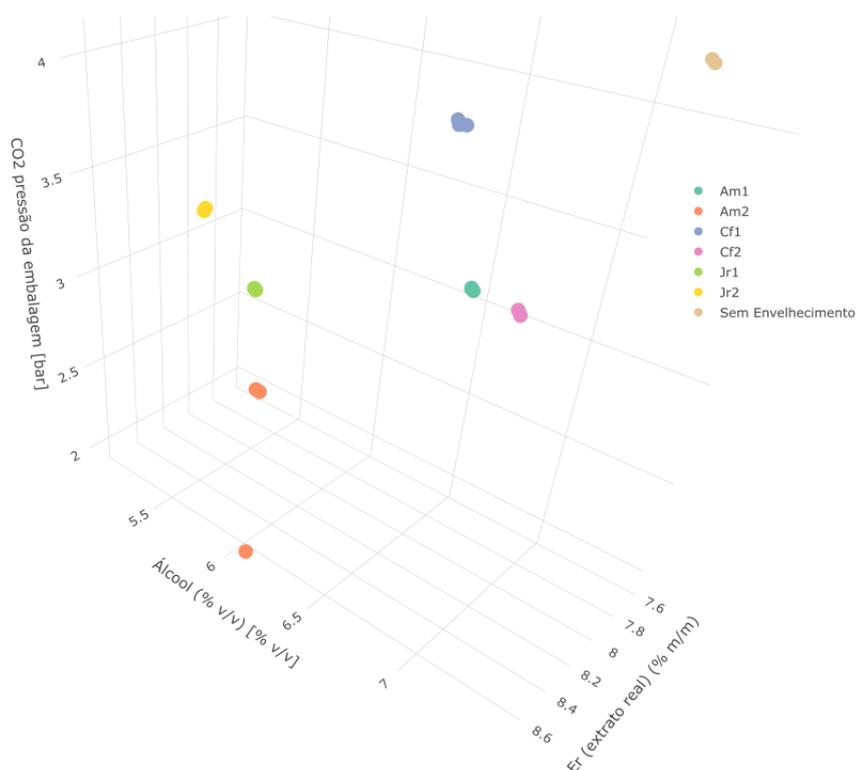


Figura 21. Distribuição dos atributos nas 3 dimensões (S.E.– cerveja não envelhecida, Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa)..

4.1.5. pH

Inicialmente, antes do início do processo de envelhecimento, a cerveja objeto de nossa investigação exibiu um pH de 4,63. À medida que as amostras passaram pelo período de envelhecimento em barris de diferentes tipos de madeira, observou-se uma tendência geral de redução nos valores de pH. De maneira mais específica, registrou-se uma diminuição de 0,4 unidades de pH nas amostras submetidas ao envelhecimento em barris de carvalho francês, uma redução de 0,17 unidades para as amostras envelhecidas em barris de amburana e uma diminuição de 0,33 unidades para as amostras envelhecidas em barris de jequitibá rosa.

De maneira global, notou-se que, ao longo dos meses de envelhecimento das amostras, ocorreu uma variação significativa nos valores de pH (Figura 20), embora algumas amostras

tenham apresentado oscilações mais pronunciadas durante esse período. Essas descobertas estão em concordância com resultados observados em estudos anteriores, como o trabalho de Cardello et al. (1997), que identificaram uma diminuição no pH de amostras de aguardente de cana envelhecidas em recipientes de madeira. Além disso, achados semelhantes foram reportados por Delahunty et al. (1993) em relação a amostras de whisky, onde também foi documentada uma redução nos valores de pH ao longo do processo de envelhecimento. Portanto, a diminuição dos valores de pH nas amostras analisadas neste estudo está em concordância com as expectativas com base na literatura científica precedente, o que ressalta a influência significativa do processo de maturação em madeira sobre as propriedades químicas da cerveja.

Vale mencionar que o gráfico que representa a evolução do pH apresenta uma relação inversa com os resultados que serão discutidos posteriormente em relação à acidez total e volátil, uma vez que a redução do pH indica uma maior acidez na solução. Contudo, é importante notar que os barris que registraram os menores valores de pH não se alinham completamente com os dados de acidez total e volátil, destacando-se o caso dos barris de jequitibá rosa, que apresentaram os menores valores de pH entre todas as amostras.

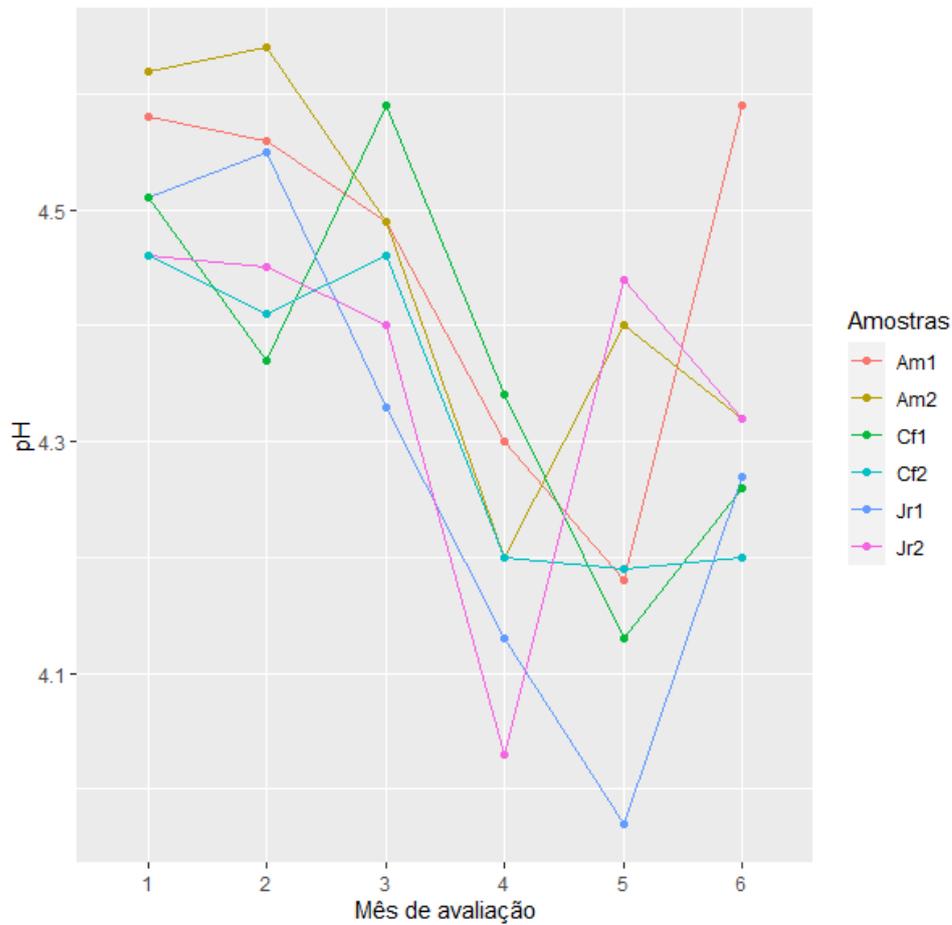


Figura 22. Gráfico de evolução do pH das cervejas envelhecidas durante 6 meses em barris de madeira de diferentes espécies (Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

O gráfico de caixas (Figura 21), torna-se evidente que os barris feitos de amburana exibem valores de pH substancialmente mais elevados em comparação com os barris de Jequitibá rosa. Enquanto isso, os barris de carvalho apresentam dados que demonstram uma maior dispersão, sendo o tratamento Cf1 aquele que exibe a maior variabilidade na distribuição dos valores de pH. Adicionalmente, no tratamento Jr2, uma observação atípica pode ser identificada, indicando uma discrepância significativa em relação às demais amostras nesse contexto específico.

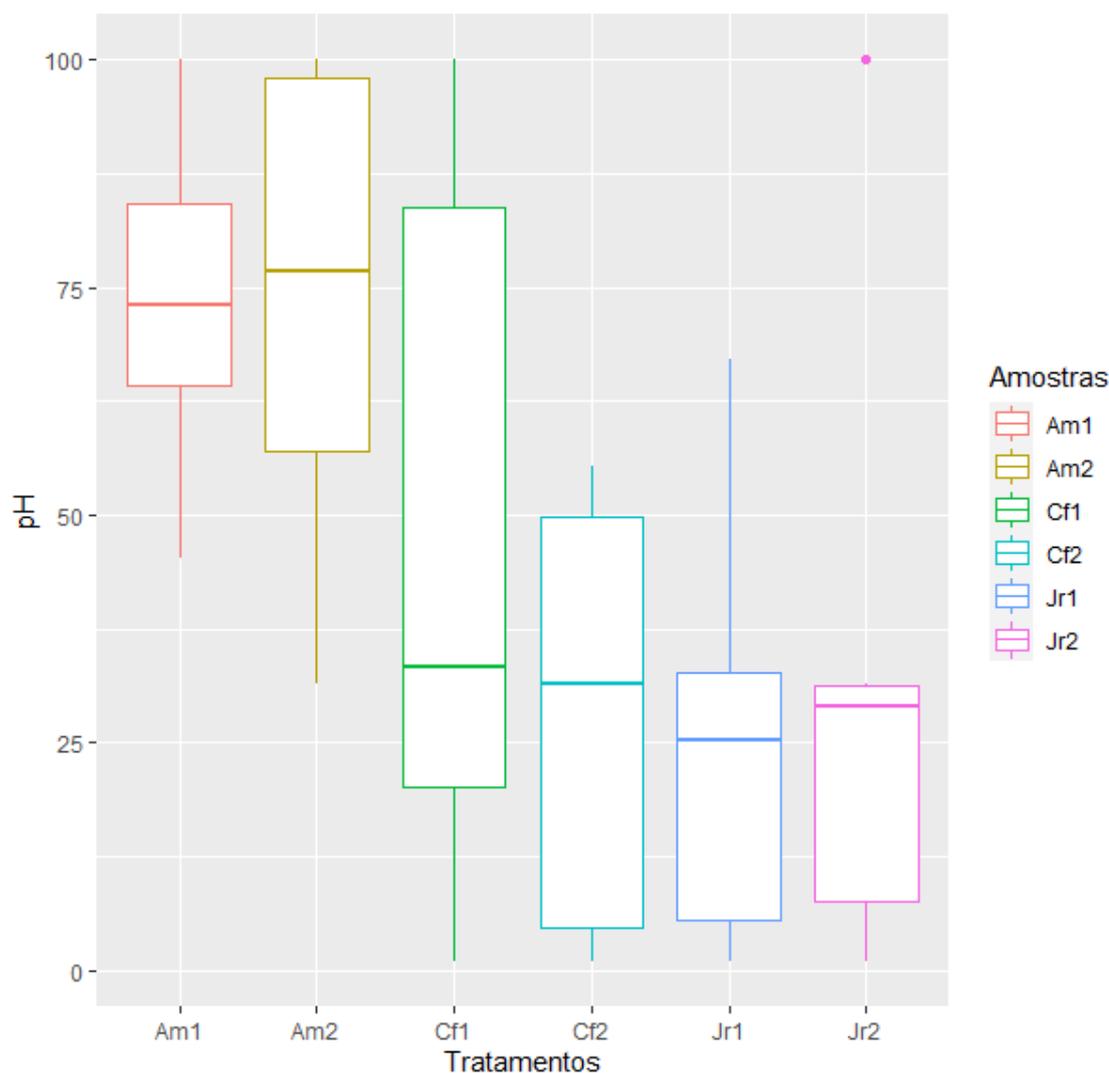


Figura 23. Análise de variância do pH durante os meses de avaliação (Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Pela análise estatística, tornou-se evidente a existência de diferenças significativas entre os diversos tratamentos, particularmente no que diz respeito aos valores de pH das soluções. Foi constatado, por meio da aplicação do teste de Scott-Knott com um nível de significância de 5%, que os barris de Amburana demonstraram um pH substancialmente superior em comparação com os demais tipos de barris utilizados no experimento. Esta observação ressalta a importância da madeira de Amburana como um fator determinante na influência do pH das soluções, possivelmente devido às interações específicas entre os componentes da madeira e a cerveja durante o processo de envelhecimento.

4.1.6. Acidez total

A acidez total compreende a soma da acidez fixa e da acidez volátil. A acidez fixa engloba os ácidos que não são arrastados pelo vapor de água, tais como o ácido málico, cítrico, fosfórico láctico, tartárico e sulfúrico. Por outro lado, a acidez volátil consiste nos ácidos que são arrastados pelo vapor de água, como o acético, butírico, propiônico e fórmico (Ferreto, 2003). Neste estudo foi observada a acidez apresentada na Figura 22, e todas as amostras se mostraram com um aumento na acidez total, no decorrer dos meses de envelhecimento, assim como Andrade (2022) observou em vinhos envelhecidos em madeiras de jequitibá rosa, carvalho francês e amburana.

Muitos barris de madeiras brasileiras, embora sejam feitos com madeiras nunca antes utilizadas, as aduelas, devido ao alto custo de importação, acabam sendo reutilizadas de antigos barris, carregando em si uma carga microbiana alta, o que pode ser um dos fatores relacionados ao aumento da acidez. No entanto, é importante destacar que diversos outros elementos desempenham um papel significativo na elevação dos níveis de acidez, incluindo a matéria-prima utilizada e o método de produção adotado. Assim, a presença de altos níveis de acidez em cervejas não pode ser considerada, como um indicador de qualidade inferior. Isso se deve à ausência de um valor padrão limite estabelecido para a acidez total em cervejas, tornando-se uma característica intrinsecamente variável e subjetiva em função das preferências individuais e dos estilos cervejeiros específicos. É importante ressaltar que a acidez em cervejas pode ser desejável em determinados estilos, contribuindo para a complexidade sensorial e o equilíbrio geral da bebida. Em cervejas como as sour ales, por exemplo, a acidez é uma característica proeminente e valorizada. (Silvello, 2019; Almeida e Belo, 2017; Taylor, 2015)

A evolução da acidez total, de modo geral, apresentou um comportamento similar aos dados da acidez volátil; no entanto, há um tratamento peculiar (Am2) que aparentemente não apresenta evolução em seus níveis de acidez total, o que suscita a possibilidade de que tal fenômeno possa ser atribuído a efeitos relacionados à madeira do barril ou às condições específicas deste último.

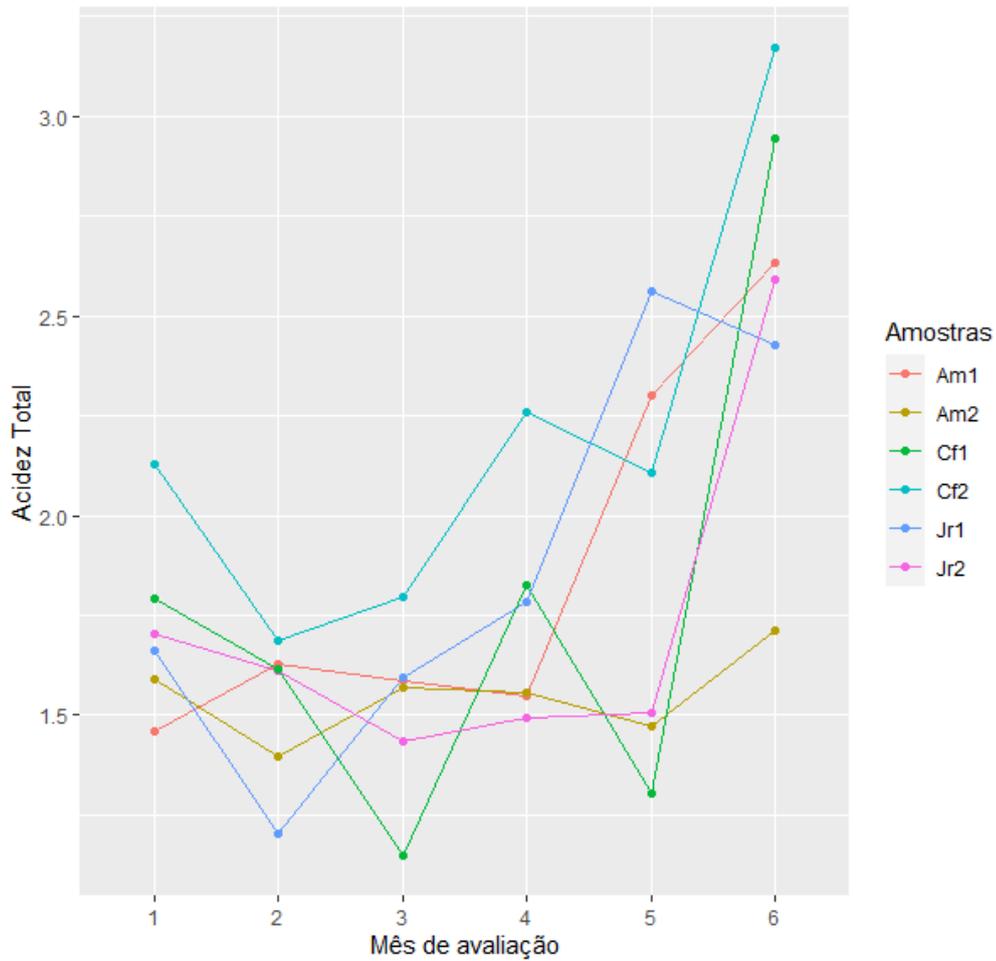


Figura 24. Comparação da acidez total durante os 6 meses de envelhecimento (Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Observa-se na Figura 23 que a acidez total apresentou uma variabilidade mais pronunciada em comparação com a acidez volátil que será discutida a seguir. Além disso, nota-se uma amplitude de dados menor nos tratamentos Cf2 e Am2, respectivamente. É relevante ressaltar que o boxplot do tratamento Cf2 exibiu uma amplitude reduzida devido à normalização dos dados, uma vez que seus valores sempre se mantiveram consistentemente superiores (100%) em relação aos demais tratamentos.

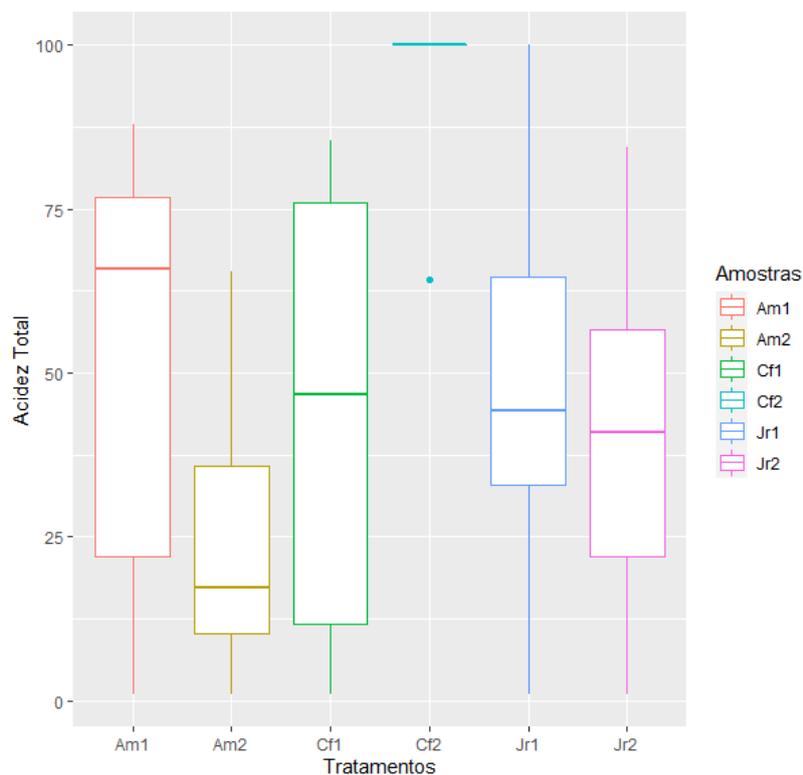


Figura 25. Análise de variância da acidez total durante os meses de avaliação (Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Seguindo a análise de variância, os tratamentos atendem às premissas de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variância. Aplicando o teste de scott-knott ao nível de 5% é possível afirmar que há significância entre os tratamentos, sendo o barril Cf2 como Acidez Total superior aos demais tratamentos.

4.1.7. Acidez volátil

Durante o envelhecimento das cervejas em madeira normalmente a acidez volátil aumenta, pois reações de oxidação do etanol, contribui para a formação de acetaldeído, que conduz a formação de ácido acético, como observou Catão et al.(2011), onde as cachaças envelhecidas em madeira, aumentaram progressivamente sua acidez volátil durante o envelhecimento. Outros fatores que influenciam a acidez da cerveja, são bactérias láticas, bactérias acéticas e outras leveduras não convencionais, como as *brettanomyces*, que podemos encontrar nas madeiras dos barris e que podem gerar ácido acético e conferir aumento na acidez e paladar ácido nas cervejas. (White; Zainasheff, 2020)

Analisando a evolução da acidez volátil medida ao longo dos meses (Figura 24), notamos que todos os tratamentos apresentam uma tendência de acréscimo da acidez volátil, apesar de algumas oscilações em alguns tratamentos, em especial nos barris CF1 e CF2, a tendência é consistente atingindo todos os barris. Vale destacar que os tratamentos CF e Am2 apresentaram as maiores e menores valores de acidez volátil, respectivamente.

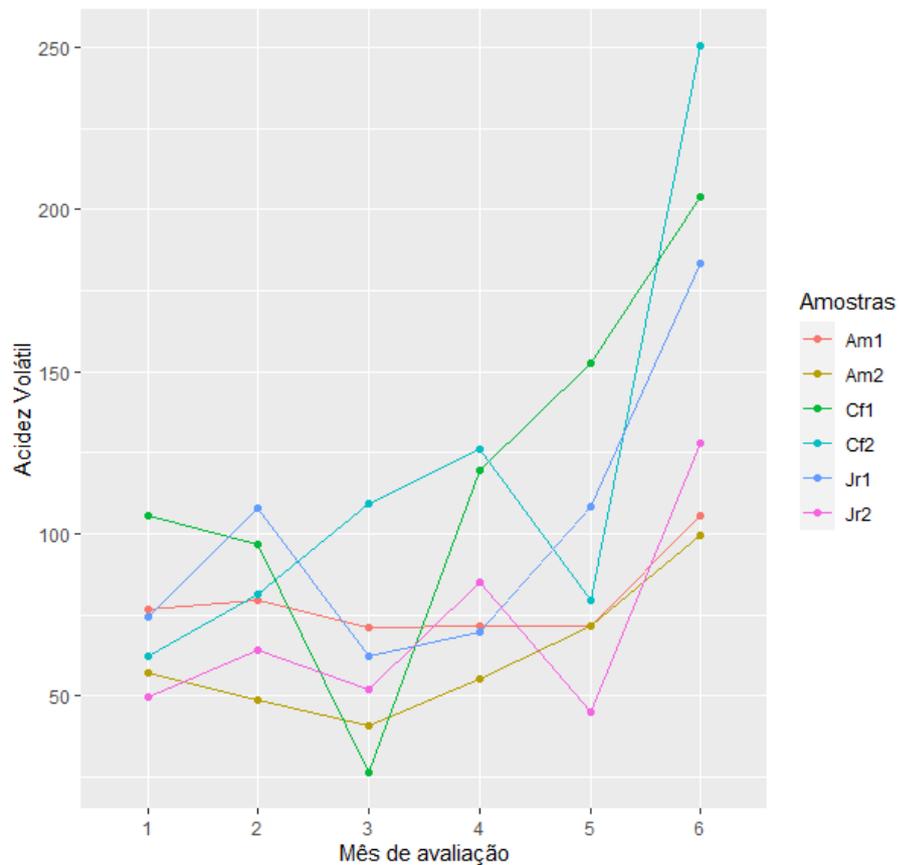


Figura 26. Comparação da acidez volátil durante os meses de avaliação (Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Na Figura 25, é evidente uma significativa dispersão dos dados no tratamento CF2, enquanto se observa uma maior homogeneidade nos barris de amburana. Além disso, chama a atenção a presença de alguns valores atípicos (outliers) nos tratamentos Cf1, Jr1 e Jr2.

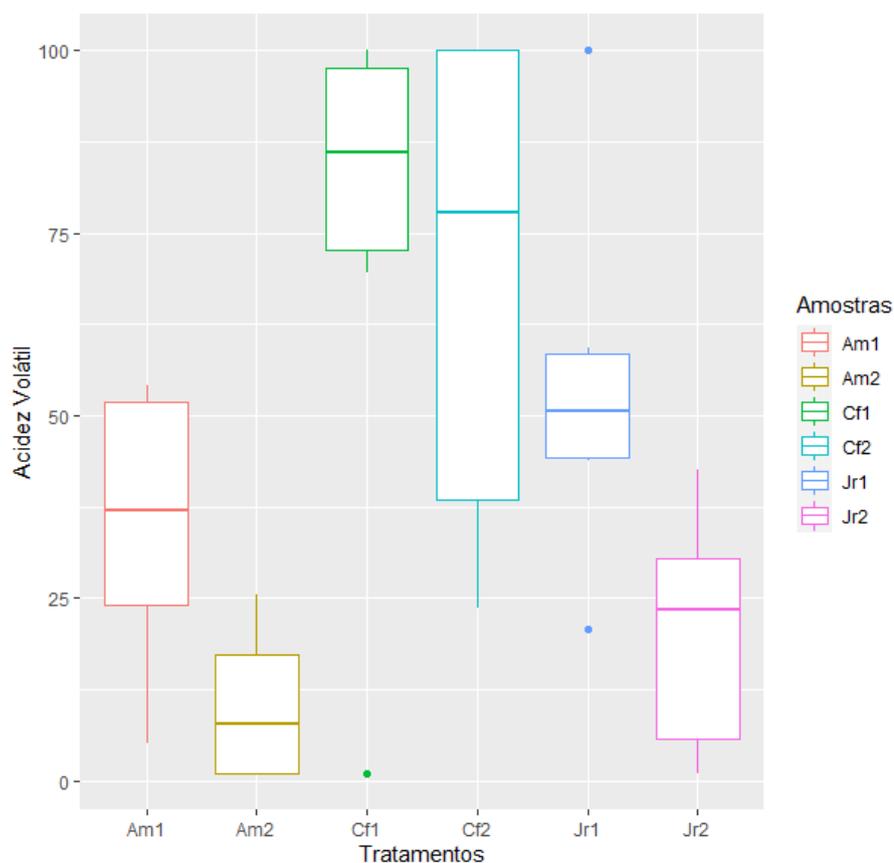


Figura 27. Acidez volátil durante o tratamento das amostras (Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

Para o teste de hipótese verificou-se as premissas para análise de variância ao nível de 5% de significância. Em seguida aplicou-se o teste de scott-knott ao nível de 5% de significância. Foi possível diferir ao nível de 5% os barris de carvalho francês dos demais tratamentos, indicando que barris de Carvalho francês proporcionam maior acidez volátil quando comparado aos demais barris.

4.1.8. Análise de correlações entre acidez volátil e total com o pH

Na análise de correlações, é interessante observar que uma correlação positiva significativa é encontrada apenas entre a Acidez Volátil e a Acidez Total, atingindo um coeficiente de correlação (R) de 66%. Por outro lado, ao examinarmos a relação com o pH, constatamos uma correlação negativa, porém de magnitude medíocre, com um valor inferior a 50%.

Embora as correlações entre o pH e as medidas de acidez total e volátil não alcancem níveis significativos de magnitude, é saliente observar que a existência de uma correlação negativa entre esses atributos estava de acordo com as expectativas. Isso se justifica pelo fato de que a escala de pH representa as concentrações de íons hidrogênio na solução aquosa, onde valores de pH superiores a 7,00 denotam uma solução alcalina, 7,00 caracteriza uma solução neutra e valores inferiores a 7,00 indicam uma solução ácida (Andrade, 2010). Essa relação é coerente com os resultados obtidos, nos quais o pH diminui à medida que os níveis de acidez total e volátil aumentam.

A Figura 26 esquematiza visualmente as correlações existentes entre a acidez total, a acidez volátil e o pH, com o propósito de simplificar a compreensão dessas relações. Através do tamanho e das escalas de cores empregadas na figura, é possível observar de maneira clara a relevância dessas correlações, oferecendo uma representação visual que facilita a interpretação desses atributos. Nesse contexto, a relação entre a acidez volátil e a acidez total emerge como mais significativa e positiva, evidenciada pelo tamanho e pela intensidade das cores utilizadas. Por outro lado, as relações entre o pH e a acidez total, bem como entre o pH e a acidez volátil, se mostram menos acentuadas em termos de significância, manifestando-se de maneira negativa, conforme indicado pelas escalas de cores e tamanhos utilizados na figura.

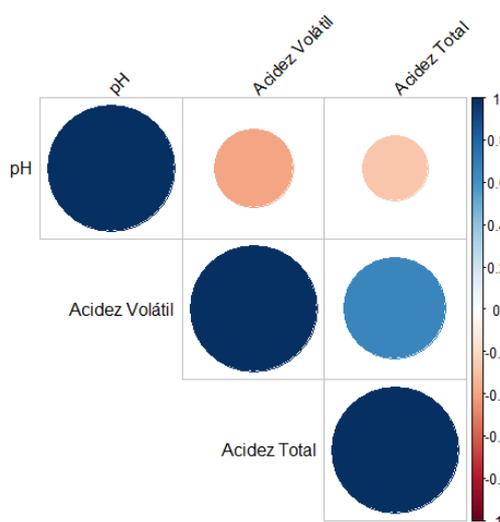


Figura 28. Gráfico visual das correlações entre acidez total e volátil com pH.

4.1.9. Análise de fenólicos totais

Os compostos fenólicos desempenham um papel de significativa importância na cerveja, influenciando diversos aspectos, tanto no aprimoramento das suas características organolépticas quanto na sua capacidade de preservação. Estes compostos desempenham um papel crucial na prevenção da oxidação de outros componentes, notadamente os taninos, cuja oxidação conduz à alteração na coloração da bebida, tornando-a mais escura (Maciel et al. 2013)

Na Figura 27, são apresentados os resultados finais referentes às concentrações de compostos fenólicos após o período de envelhecimento de 6 meses.

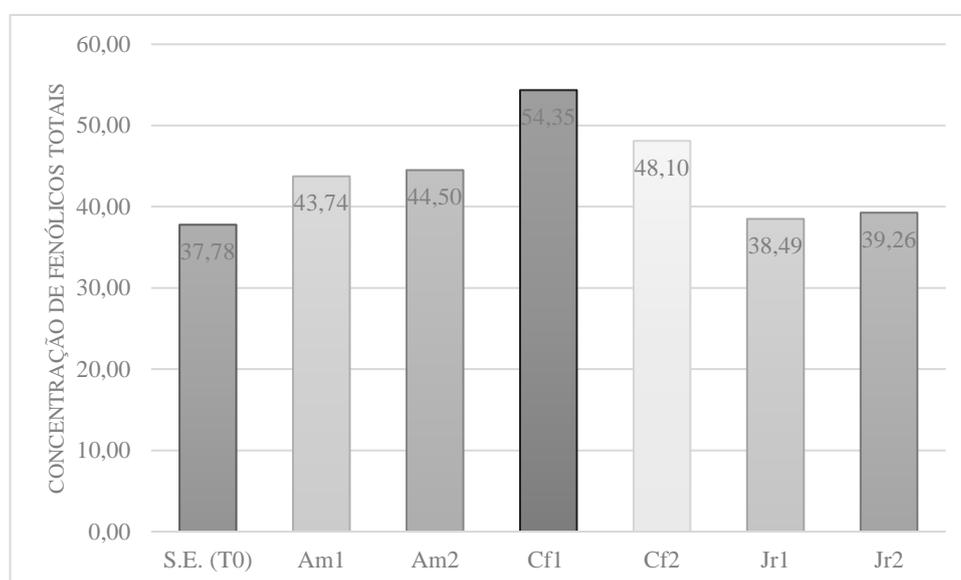


Figura 29. Concentração de compostos fenólicos das cervejas envelhecidas após 6 meses em barris de madeira de diferentes espécies (S.E. (T0) – cerveja não envelhecida, Am – Amburana, Cf – Carvalho Francês, Jr – Jequitibá rosa).

É notável que, na análise final realizada após os 6 meses de envelhecimento, todas as variedades de madeira apresentaram concentrações de compostos fenólicos superiores àquelas encontradas na cerveja não envelhecida. No entanto, para compreender mais profundamente a evolução dessa relação ao longo dos 6 meses, realizaremos uma análise de regressão detalhada a seguir.

Para gerar as regressões dos atributos químicos numéricos fez-se uso da combinação de variáveis categóricas (Tipo de madeira) e numéricas (tempo de maturação em meses). Para a construção de qualquer modelo de regressão não é possível utilizar dados categóricos, portanto, foi realizado uma transformação das categorias por rótulos numéricos, como mostra a Tabela 3:

Tabela 3. Transformação das categorias por rótulos numéricos

Variável Categórica	Rótulo Numérico Associado
Amburana	0
Carvalho	1
Jequitibá	2
Sem maturação em madeira	3

O trabalho de regressão dos dados do experimento pautou-se na hipótese de que a concentração dos fenólicos totais é influenciada e pode ser explicado pelo tempo de maturação e a qualidade do barril, ou seja, tipo de madeira ou ausência de maturação. Deste modo utilizou-se a biblioteca statsmodels (Skipper & Perktold, 2010) da linguagem python, aplicando-se o procedimento *stepwise*, um método utilizado em análises regressivas capaz de capturar a significância e relevância das variáveis estudadas.

Através do procedimento anterior pode-se concluir que é possível a construção de uma regressão linear através das variáveis tempo e tipo de barril, considerando uma significância ao nível de 5%, como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4. Transformação das categorias por rótulos numéricos

Componentes da regressão	Coeficiente	Erro padrão	t	P valor	Intervalo de confiança
Constante	47,8302	2,583	18,52	< 0,1%	Entre 42,6 e 53,1
Variável 1: tipo do barril	-3,8254	1,150	-3,32	0,2%	Entre -6,16 e -1,49
Variável 2: tempo	2,1358	0,562	3,80	0,1%	Entre 0,99 e 3,28

A regressão gerou um R^2 de 46% e um R^2 ajustado de 42%, apesar dos valores de ajuste serem medianos é importante salientar dois aspectos. O primeiro está atrelado ao baixo número amostral e alguns comportamentos anômalos como o 4º mês dos barris de jequitibá. Um maior número de amostras poderia confirmar o comportamento de alguns possíveis outliers, consequentemente o descarte destas amostras e um possível melhora no ajuste da regressão.

O segundo aspecto observado foi a pequena diferença entre o R^2 (46%) e R^2 ajustado (42%). É importante destacar que o R^2 tende a aumentar à medida que você adiciona mais variáveis independentes ao modelo, mesmo que essas variáveis não melhorem significativamente o ajuste. O R^2 ajustado corrige essa limitação do R^2 , levando em consideração o número de variáveis independentes no modelo, penalizando o modelo quando variáveis irrelevantes ou redundantes são adicionadas. Este conjunto de aspectos atrelado a significância, ao nível de 5%,

podem conferir a regressão encontrada neste trabalho como robusta e com potencial de ser explorado e aperfeiçoado em experimentos e repetições futuras.

Por fim a regressão pode ser descrita e aplicada conforme a equação abaixo:

$$f(\text{Fenólicos Totais}) = -3,8254(x) + 2,1358(z) + 47,8302$$

No qual:

X = Tipo de barril (valores de 0 a 3)

Z = Tempo em meses (valores de 0 a 6)

O gráfico de dispersão dos resultados, conforme apresentado na Figura 28, desempenha um papel crucial ao permitir a análise de padrões e tendências observados ao longo do tempo. Como primeira suposição, era esperado que a concentração de compostos fenólicos totais aumentasse com a progressão do período de maturação, uma expectativa corroborada por estudos anteriores, como o de Angeloni (2016), que constatou um incremento de 20% na concentração de compostos fenólicos após o envelhecimento da cerveja em barris de carvalho durante 5 meses, e por Silvello (2019), que, após um período de 6 meses de envelhecimento da cerveja em barris de madeiras brasileiras, amburana e cabreúva, observou um aumento de 25% na concentração desses compostos fenólicos. É relevante destacar que esse padrão de comportamento se mostrou independente do tipo de barril no qual a bebida foi armazenada.

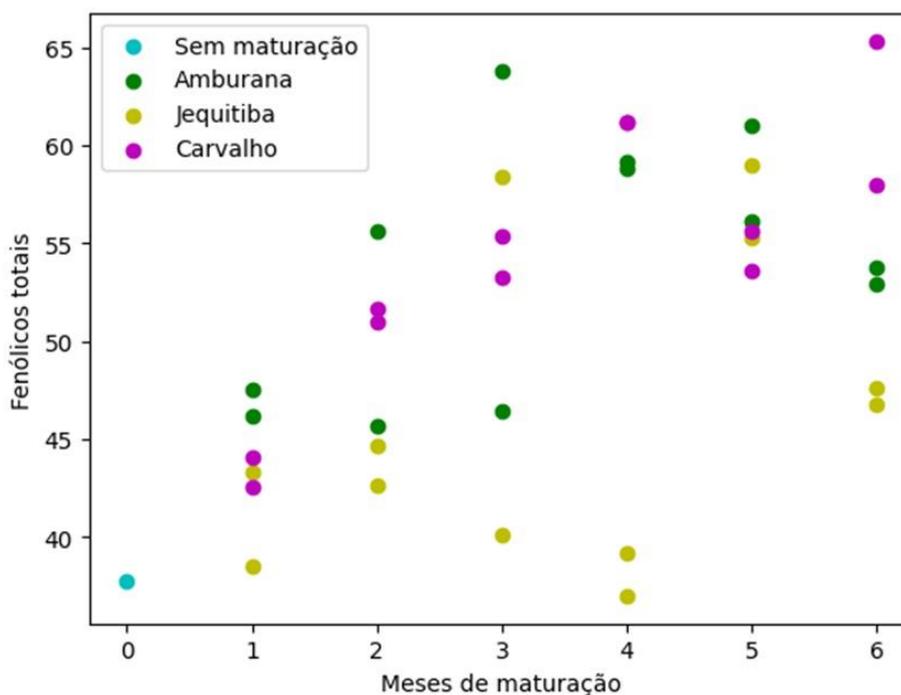


Figura 30. Gráfico de dispersão Fenólicos totais X Tempo

Por outro lado, a madeira de Jequitibá demonstrou um comportamento peculiar, caracterizado por uma notável variabilidade, bem como por um padrão oscilatório, que destoa do comportamento esperado. Esse padrão de comportamento, particularmente evidente no 4º mês, suscita preocupações e levanta a possibilidade da existência de alguma inconsistência na metodologia de aquisição dos dados. Lamentavelmente, em virtude do reduzido tamanho da amostra e da falta de repetições, classificar esses dados como outliers ou efetuar imputações se revela uma tarefa delicada e complexa, carecendo de bases sólidas. Portanto, torna-se essencial que este experimento seja conduzido novamente, idealmente com um número substancialmente maior de amostras, a fim de possibilitar uma comparação dos novos dados com os resultados obtidos neste estudo.

Como etapa preliminar da elaboração da regressão linear múltipla foi feita averiguações do ajuste final do modelo, inicialmente passamos pela etapa de ajustes, onde as predições são confrontadas em função do comportamento individual de cada variável.

4.2. Análise sensorial

4.2.1. Perfil dos consumidores e hábitos de consumo

Para auxiliar na compreensão dos resultados, junto com o questionário CATA da análise sensorial, foram feitas perguntas com o intuito de definir o perfil dos consumidores. Os dados demográficos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Características sociodemográficas dos participantes

	Nº	%
Gênero		
Feminino	40	40,40%
Masculino	59	59,60%
Faixa Etária		
18 a 25 anos	43	43,43%
26 a 35 anos	33	33,33%
36 a 45 anos	8	8,08%
46 a 55 anos	6	6,06%
56 a 65 anos	7	7,07%
66 anos ou mais	2	2,02%
Escolaridade		
Fundamental		
Incompleto	0	0%
Fundamental		
Completo	7	7,1%
Superior		
Incompleto	36	36,4%
Superior		
Completo	18	18,2
Pós-graduação		
Incompleta	16	16,2%
Pós-graduação		
Completa	22	22,2%

No que se refere à composição do quadro de consumidores, observa-se uma predominância do sexo masculino, que representa 59,60% dos participantes, enquanto o sexo feminino corresponde a 40,40%. A faixa etária dos participantes revelou uma considerável variabilidade, com destaque para os dois primeiros grupos etários, situados entre 18 e 35 anos,

que abrangem a maioria dos integrantes, sendo 43,43% com idades entre 18 e 25 anos e 33,33% com idades entre 26 e 35 anos, totalizando expressivos 76,76% do total dos provadores. Os participantes com idades entre 36 e 65 anos foram divididos em três grupos: 36 a 45 anos, 46 a 55 anos e 56 a 65 anos, com aproximadamente 7% de representação cada. Por fim, o grupo mais idoso, com 66 anos ou mais, corresponde a uma parcela menor, totalizando 2,02% dos consumidores.

No que diz respeito à escolaridade dos participantes, a grande maioria, representando 93% concluiu o ensino fundamental. Desse grupo, 36,4% está atualmente cursando a graduação, 18,2% já concluiu o ensino superior, enquanto 16,2% estão cursando a pós-graduação e 22,2% já concluíram essa etapa educacional.

A figura 29, nos mostra a frequência de consumo de cerveja dos participantes da análise sensorial.

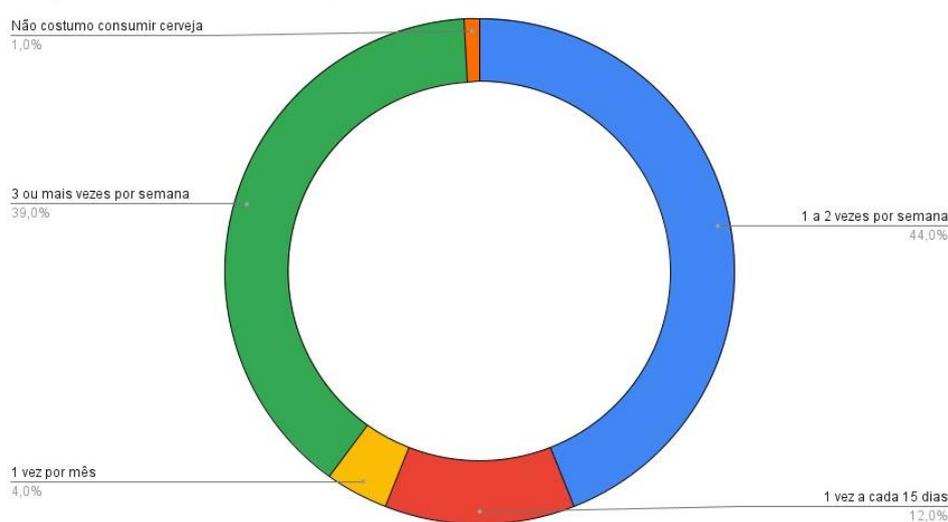


Figura 31. Frequência do consumo de cerveja pelos participantes

Quanto aos hábitos de consumo de cerveja entre os participantes, é evidente a notável diversidade de estilos de cerveja que esses indivíduos costumam apreciar, conforme ilustrado na Figura 30.

Essa diversidade de preferências sugere um público que demonstra um alto grau de familiaridade e envolvimento com cervejas artesanais, indicando uma inserção nesse segmento. Este cenário está alinhado com as observações de Ferreira et al. (2019), que destacaram que a

curiosidade crescente em relação às cervejas artesanais impulsiona os consumidores a buscar produtos diferenciados em comparação às cervejas produzidas em larga escala. Tal busca é motivada pelo desejo de explorar sabores mais distintos e marcantes, que muitas vezes tornam as cervejas *mainstream* menos atrativas para esse público. Nesse sentido, a diversidade de estilos de cerveja apreciados pelos participantes do estudo reflete uma inclinação para a apreciação de produtos cervejeiros mais complexos e distintos, característicos do universo das cervejas artesanais.

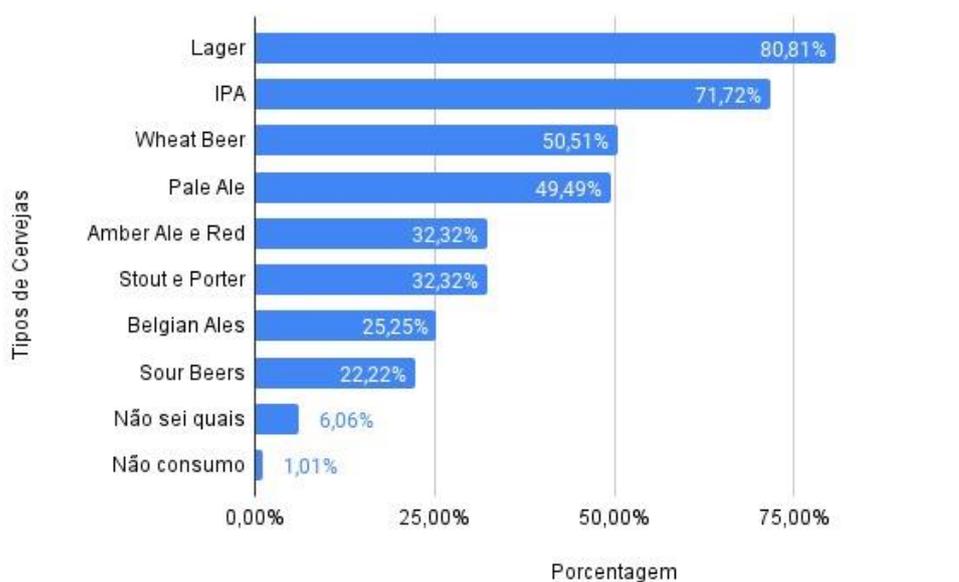


Figura 32. Estilos de cerveja mais consumidos pelos provadores da análise sensorial.

De maneira análoga a tendências globais, a preferência dos avaliadores no estudo refletiu a predominância da cerveja do tipo Lager (pilsens) como a mais consumida. As cervejas Lager são de baixa fermentação e têm sua origem no estilo tcheco pilsner, porém com a adição de adjuntos, tais como arroz e milho, que conferem à cerveja uma característica de leveza, facilidade de consumo e clareza visual. Este estilo de cerveja é reconhecido por sua neutralidade e perfil refrescante, o que culminou em sua popularização e tornou-o o estilo mais amplamente produzido em escala global (Oliver, 2003).

No entanto, a Figura 30 evidencia que a maioria dos avaliadores possui o hábito de consumir cervejas artesanais, uma vez que diversos estilos se revelaram como escolhas significativamente populares. Por exemplo, o estilo Indian Pale Ale (IPA), que segue de perto o predomínio das Lagers (80,81%), é consumido por 71,72% dos avaliadores. Além disso, as cervejas de trigo e as Pale Ales demonstraram níveis consideráveis de consumo, registrando taxas

de aproximadamente 50%. As cervejas com perfil caramelizado, como as Amber Ales e Red Ales, bem como as variedades de cervejas mais escuras, tais como Stouts e Porters, revelaram-se consumidas por uma parcela de 32,32% dos participantes. Logo em seguida, as Belgian Ales e as Sour Beers foram apontadas como opções de consumo, com índices de 25,25% e 22,22%, respectivamente.

E como nos mostra a figura 31, embora o consumo de cervejas envelhecidas em madeiras no Brasil não seja algo muito difundido, mais da metade dos participantes já tinham provado cerveja envelhecida em madeira, totalizando 50,5%.

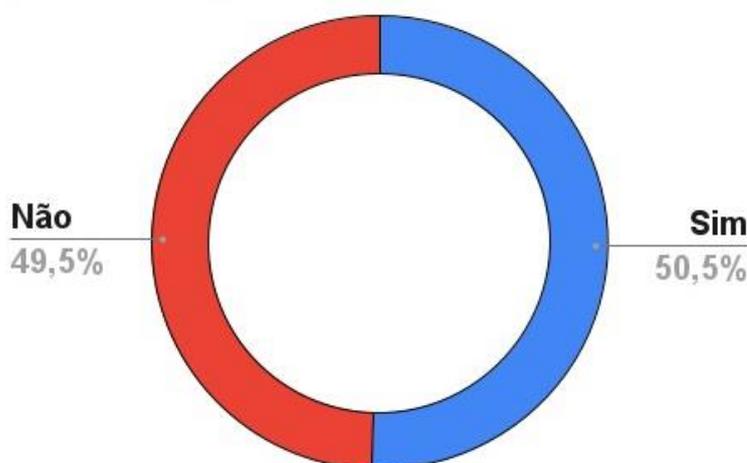


Figura 33. Resposta dos provadores sobre já ter consumido cerveja envelhecida anteriormente.

4.2.2. Aceitação pela escala hedônica

No questionário preenchido pelos participantes, além das questões relacionadas ao questionário CATA (Check-All-That-Apply), incluíram-se perguntas que faziam parte da escala hedônica, conforme documentado no apêndice 1. As perguntas da escala hedônica tiveram como objetivo avaliar a aceitação global das amostras de cerveja, bem como aspectos específicos relacionados à aparência, sabor, aroma, sensação na boca e intenção de compra.

A Tabela 6 apresenta as classificações atribuídas pelos participantes em uma escala de avaliação que abrange uma gama de pontuações de 1 a 9, na qual 1 representa uma avaliação correspondente a 'desgostei muitíssimo', enquanto a pontuação 9 corresponde a 'gostei muitíssimo'. Uma pontuação de 5, por sua vez, indica uma avaliação neutra, denotando 'não gostei nem desgostei'. Essa escala proporcionou uma medida quantitativa da resposta dos

participantes em relação à sua apreciação global das amostras de cerveja e de aspectos específicos relacionados à experiência sensorial.

Tabela 6. Média dos resultados obtidos a partir da Escala Hedônica.

	T0	Carvalho francês	Jequitibá rosa	Amburana 2	Amburana 1
Aceitação					
global	7,0 (a)	6,2 (b)	5,9 (b)	5,7 (b)	5,9 (b)
Aparência					
Aparência	7,0 (a)	7,3 (a)	7,4 (a)	7,2 (a)	7,3 (a)
Aroma					
Aroma	6,8 (a)	6,5 (a)	5,7 (b)	5,4 (b)	5,6 (b)
Sabor					
Sabor	7,0 (a)	5,8 (b)	5,7 (b)	5,6 (b)	5,6 (b)
Sensação					
na boca	6,9 (a)	6,0 (b)	6,0 (b)	5,9 (b)	5,8 (b)
Intenção					
de compra	3,6 (a)	3,0 (b)	2,9 (b)	3,0 (b)	2,8 (b)

Aceitação significativa dos tratamentos nos parâmetros avaliados. (tukey $p < 0,05$)

Conforme evidenciado na Tabela 6, em relação a todos os parâmetros de avaliação considerados, todas as madeiras demonstraram ser bem recebidas pelos participantes, uma vez que nenhuma das cervejas avaliadas, em nenhum parâmetro, recebeu uma pontuação inferior a 5. No que tange à avaliação global das cervejas, destaca-se que a amostra sem envelhecimento se destacou de maneira estatisticamente significativa em relação aos parâmetros de aceitação global, sabor e sensação na boca. Em relação a aparência, não foi identificada diferença significativa entre as amostras, visto que todos os tratamentos foram bem avaliados, obtendo pontuações na faixa de 7,2. No entanto, no que diz respeito ao aroma, tanto a cerveja sem envelhecimento quanto a cerveja envelhecida em barris de carvalho francês receberam avaliações significativamente mais positivas do que os demais tratamentos."

Adicionalmente, na Tabela 6, foi incorporada uma questão relativa à intenção de aquisição das amostras avaliadas, com uma escala de pontuação diferenciada, na qual a pontuação 5 denotava uma certeza de compra, a pontuação 1 indicava uma certeza de não compra e a pontuação 3 expressava uma indecisão quanto à intenção de compra. Os resultados também espelharam uma atitude favorável com relação à intenção de aquisição, uma vez que todos os tratamentos apresentaram pontuações próximas à média de 3; no entanto, de forma estatisticamente significativa, a amostra sem envelhecimento foi a que mais agradou os participantes.

4.2.3. Análise de penalidades

Na análise de penalidades podemos compreender se há impacto significativo na aceitação geral dos produtos quando os atributos estão mais ou menos intensos do que os consumidores julgam como ideal.

O objetivo dessa análise não é comparar diretamente as amostras, mas sim analisar cada uma delas separadamente para obter *insights* do que pode ser melhorado do ponto de vista dos consumidores. Na tabela 7 temos os resultados para a amostra de Amburana 1.

Tabela 7. Análises de penalidades da cerveja envelhecida em barril de Amburana 1

Variável	Nível	%	Média(Aceitação global)	Queda na aceitação	p-valor	Significativo
Cor	Mais clara	11,11%	5,36	0,58		
	Ideal	73,74%	5,94			
	Mais escura	15,15%	6,20	-0,25		
Carbonatação	Menos gás	26,26%	5,73	0,30	0,553	Não
	Ideal	57,58%	6,03			
	Mais gás	16,16%	5,81	0,22		
Amargor	Menos amarga	34,34%	6,26	0,79	0,182	Não
	Ideal	32,32%	7,06			
	Mais amarga	33,33%	4,45	2,60	<0,0001	Sim
Madeira	Menos madeira	7,07%	6,00	1,35		
	Ideal	20,20%	7,35			
	Mais madeira	72,73%	5,51	1,83	0,000	Sim

Aqueles indivíduos que perceberam níveis mais intensos de amargor, bem como uma presença mais pronunciada de aroma e sabor de madeira do que estavam habituados, atribuíram pontuações significativamente mais baixas no que diz respeito à aceitação geral em comparação com aqueles que consideraram o amargor e a intensidade das características de madeira alinhados com suas preferências. Especificamente, observou-se a maior penalização em relação ao amargor, resultando em uma redução notável na avaliação geral das amostras, que passou de 7,06 para 4,45, com uma penalidade de 2,60. No que se refere às características da madeira, os participantes que relataram níveis mais elevados do que suas preferências pessoais demonstraram uma diminuição de 1,83 pontos na avaliação geral, reduzindo-a de 7,35 para 5,51.

Este mesmo padrão de resposta foi também observado no segundo barril de Amburana, onde os atributos determinantes para a penalização da avaliação geral foram novamente o

amargor e as características relacionadas à madeira. Como evidenciado na Tabela 8, essa constatação era esperada, dado que ambas as amostras foram submetidas a barris da mesma madeira, configurando-se como duas repetições do experimento.

Tabela 8. Análises de penalidades da cerveja envelhecida em barril de Amburana 2

Variável	Nível	%	Média(Aceitação global)	Queda na aceitação	p-valor	Significativo
Cor	Mais clara	11,11%	6,18	-0,36		
	Ideal	75,76%	5,81			
	Mais escura	13,13%	4,76	1,04		
Carbonatação	Menos gás	38,38%	5,44	0,55	0,279	Não
	Ideal	49,49%	6,00			
	Mais gás	12,12%	5,41	0,58		
Amargor	Menos amarga	41,41%	5,70	1,11	0,066	Não
	Ideal	34,34%	6,82			
	Mais amarga	24,24%	4,16	2,65	< 0,0001	Sim
Madeira	Menos madeira	15,15%	5,60	2,09		
	Ideal	26,26%	7,69			
	Mais madeira	58,59%	4,86	2,83	< 0,0001	Sim

Na Tabela 8, podemos ver que quando os participantes apontaram um amargor acima de suas preferências, a avaliação global da cerveja caiu de 6,62 para 4,16, uma diminuição de 2,65 pontos. No caso das características da madeira, a aceitação da amostra diminuiu significativamente, de 7,69 para 4,86, uma queda de 2,83 pontos.

Ao analisar a aceitação geral da amostra de cerveja envelhecida em Carvalho francês (Tabela 9), observamos que os mesmos atributos foram estatisticamente significativos. No entanto, no que diz respeito ao amargor, ocorreu uma diferenciação em relação aos barris de Amburana. Enquanto nos barris de Amburana o amargor mostrou-se significativo apenas quando considerado mais intenso, na amostra de Carvalho francês, esse atributo dividiu as opiniões. Isso significa que tanto um amargor percebido como muito intenso quanto um amargor percebido como menos intenso penalizaram a aceitação da amostra.

Tabela 9. Análises de penalidades da cerveja envelhecida em barril de Carvalho francês

Variável	Nível	%	Média(Aceitação global)	Queda na aceitação	p-valor	Significativo
Cor	Mais clara	17,17%	6,11	0,10		
	Ideal	69,70%	6,21			
	Mais escura	13,13%	6,38	-0,16		
Carbonatação	Menos gás	35,35%	5,71	0,98	0,075	Não
	Ideal	40,40%	6,70			
	Mais gás	24,24%	6,16	0,53	0,534	Não
Amargor	Menos amarga	39,39%	5,35	2,02	< 0,0001	Sim
	Ideal	39,39%	7,38			
	Mais amarga	21,21%	5,66	1,71	0,001	Sim
Madeira	Menos madeira	25,25%	6,76	0,24	0,864	Não
	Ideal	35,35%	7,00			
	Mais madeira	39,39%	5,17	1,82	< 0,0001	Sim

No que concerne ao atributo "características de madeira", assim como nas amostras de Amburana, observou-se que a penalização na avaliação geral das amostras de Carvalho francês, como visto na Tabela 9. Essa penalização originou-se daqueles participantes que assinalaram que a amostra apresentava características de madeira em excesso em relação ao ideal percebido, resultando em uma queda na avaliação de 1,82 pontos, indo de 7,00 para 5,17.

Na amostra de cerveja envelhecida em barris de jequitibá rosa (Tabela 10), além dos atributos de amargor e características da madeira, foi notada uma penalização na avaliação geral relacionada ao atributo de cor. Especificamente, quando os participantes indicaram que a cerveja apresentava uma tonalidade mais clara do que aquela que consideravam ideal, houve uma redução significativa na avaliação geral, com uma queda de 2,00 pontos, passando de 6,23 para 5,10, conforme demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10. Análises de penalidades da cerveja envelhecida em barril de Jequitibá rosa

Variável	Nível	%	Média(Aceitação global)	Queda na aceitação	p-valor	Significativo
Cor	Mais clara	20,20%	5,10	1,13	0,048	Sim
	Ideal	73,74%	6,23			
	Mais escura	6,06%	5,33	0,90		
Carbonatação	Menos gás	38,38%	5,39	1,18	0,061	Não
	Ideal	40,40%	6,57			
	Mais gás	21,21%	5,76	0,81	0,383	Não
Amargor	Menos amarga	44,44%	5,18	2,27	< 0,0001	Sim
	Ideal	33,33%	7,45			
	Mais amarga	22,22%	5,22	2,22	0,000	Sim
Madeira	Menos madeira	36,36%	5,00	2,08	0,000	Sim
	Ideal	35,35%	7,08			
	Mais madeira	28,28%	5,75	1,33	0,042	Sim

Para os atributos amargor e características da madeira, a amostra de jequitibá rosa também dividiu opiniões, sendo que foi significativo para os dois atributos, quando as pessoas marcaram que esses atributos estavam a mais, e também quando marcaram que estava a menos do que o ideal. Sendo que no amargor, a queda na aceitação geral, foi bem similar, tanto para muito amargor, como para pouco amargor sendo de 2,0. Para características de madeira, quando as pessoas marcaram que tinha mais madeira, a aceitação teve uma queda maior, de 2,08, em relação a quem marcou menos madeira, onde a queda foi de 1,33.

Ao examinar a cerveja que não passou pelo processo de envelhecimento, constatou-se que em todos os atributos houve penalidades na avaliação, sendo que indivíduos que classificaram a cor da cerveja como mais escura do que consideravam ideal experimentaram uma queda na avaliação geral da cerveja, reduzindo-a de 7,64 para 6,51.

No que se refere ao atributo de carbonatação, aqueles que assinalaram que a cerveja apresentava um nível de gás inferior às suas preferências pessoais sofreram uma penalização em sua avaliação, com uma diminuição de 1,37 pontos, como registrado na Tabela 11.

Tabela 11. Análises de penalidades da cerveja sem envelhecimento

Variável	Nível	%	Média(Aceitação global)	Queda na aceitação	p-valor	Significativo
	Mais clara	2,02%	6,500	1,146		
Cor	Ideal	48,48%	7,646			
	Mais escura	49,49%	6,510	1,136	0,001	Sim
	Menos gás	37,37%	6,351	1,378	0,000	Sim
Carbonatação	Ideal	48,48%	7,729			
	Mais gás	14,14%	6,643	1,086		
	Menos amarga	20,20%	6,350	1,352	0,005	Sim
Amargor	Ideal	57,58%	7,702			
	Mais amarga	22,22%	6,045	1,656	0,000	Sim
	Menos madeira	27,27%	6,852	0,688	0,215	Não
Madeira	Ideal	50,51%	7,540			
	Mais madeira	22,22%	6,227	1,313	0,009	Sim

O atributo de amargor demonstrou gerar divergências de opinião, uma vez que tanto aqueles que perceberam a cerveja como mais amarga do que preferiam quanto aqueles que a consideraram menos amarga experimentaram uma diminuição na avaliação geral. A penalização foi de 1,35 pontos para a categoria de menos amargor e de 1,65 pontos para a categoria de mais amargor.

Curiosamente, no que diz respeito ao atributo de "características da madeira", a amostra de cerveja sem envelhecimento apresentou uma penalização. Isso ocorreu entre os participantes que perceberam um nível de características de madeira superior ao que consideravam ideal. Essa penalização pode ser atribuída ao fato de que os participantes foram recrutados para um estudo relacionado a cervejas envelhecidas em barris de madeira, o que gerou a expectativa de encontrar uma presença mais acentuada de características de madeira..

4.2.4. CATA (Check all that apply)

O teste Q de Cochran (Tabela 12) permite avaliar o efeito de uma variável explicativa, neste caso, as diferentes cervejas, sobre a percepção dos consumidores em relação a um atributo específico. O teste estabelece que qualquer valor de p inferior a 0,05 é considerado estatisticamente significativo. Um valor de p menor que esse limite de significância indica que os

produtos (cervejas) apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si em relação ao atributo em questão.

Tabela 12. Teste Q de *Cochran*

Atributos	p-valor
Cor âmbar clara	<0,0001
Cor âmbar escura	<0,0001
Cor marrom	<0,0001
Turva	<0,0001
Aroma cítrico	<0,0001
Aroma de especiarias	0,004
Aroma de damasco	0,035
Aroma de acetona	<0,0001
Aroma canela	0,003
Aroma de coco	0,002
Aroma de baunilha*	0,101
Aroma de madeira	<0,0001
Aroma medicinal (remédio)	0,003
Aroma de levedura (fermento)	0,046
Aroma de malte	0,019
Sabor de caramelo	0,012
Sabor de melão	0,002
Salgada*	0,050
Doce*	0,625
Azeda	<0,0001
Amarga	0,006
Sabor cítrico	<0,0001
Sabor medicinal (remédio)	0,000
Sabor de Baunilha*	0,330
Sabor de coco	0,005
Sabor de frutas secas*	0,118
Sabor de damasco*	0,214
Sabor de carambola	0,000
Corpo leve	0,000
Sensação alcoólica*	0,107
Espuma persistente*	0,437
Encorpada	<0,0001

Na Tabela 12, observa-se que a maioria dos atributos apresenta associação estatisticamente significativa com valores de $p < 0,05$, com exceção de oito atributos. Entre esses, destacam-se o atributo "Aroma de baunilha" na categoria aromática, os atributos "Salgado", "Doce", "Sabor de Baunilha", "Sabor de Frutas Secas" e "Sabor de Damasco" na categoria de paladar, bem como os atributos "Sensação alcoólica" e "Espuma persistente" na categoria de sensação na boca. Vale ressaltar que os outros 24 termos listados na Tabela 12 apresentaram significância estatística e serão discutidos posteriormente.

Em conjunto com o teste Q, também foi conduzido o teste de comparações múltiplas, conforme registrado na Tabela 13. Essa análise teve como objetivo aprofundar a compreensão da significância dos atributos em relação às diversas amostras de cervejas envelhecidas, proporcionando uma abordagem mais detalhada da relação entre os atributos e as amostras.

Atributos	Amburana 1	Amburana 2	Carvalho Francês	Jequitibá Rosa	Sem envelhecimento
%					
Cor âmbar clara	40,4 (a)	39,4 (a)	40,4 (a)	50,5 (a)	16,2 (b)
Cor âmbar escura	12,1 (b)	9,1 (b)	6,1 (b)	1,0 (b)	32,3 (a)
Cor marrom	6,1 (b)	2,0 (b)	4,0 (b)	1,0 (b)	27,3 (a)
Turva	26,3 (bc)	33,3 (ab)	22,2 (bc)	17,2 (c)	46,5 (a)
Aroma cítrico	12,1 (b)	7,1 (b)	28,3 (a)	29,3 (a)	12,1 (b)
Aroma de especiarias	31,3 (a)	19,2 (ab)	13,1 (b)	15,2 (b)	14,1 (b)
Aroma de damasco	4,0 (a)	5,1 (a)	12,1 (a)	12,1 (a)	5,1 (a)
Aroma de acetona	17,2 (b)	13,1 (b)	9,1 (b)	37,4 (a)	9,1 (b)
Aroma canela	12,1 (a)	12,1 (a)	3,0 (b)	2,0 (b)	5,1 (ab)
Aroma de coco	11,1 (ab)	6,1 (abc)	12,1 (a)	1,0 (c)	3,0 (bc)
Aroma de baunilha	12,1 (a)	15,2 (a)	14,1 (a)	5,1 (a)	9,1 (a)
Aroma de madeira	70,7 (a)	58,6 (a)	40,4 (b)	34,3 (b)	37,4 (b)
Aroma medicinal (remédio)	23,2 (a)	14,1 (ab)	7,1 (b)	11,1 (ab)	7,1 (b)
Aroma de levedura (fermento)	16,2 (b)	20,2 (ab)	23,2 (ab)	23,2 (ab)	32,3 (a)
Aroma de malte	6,1 (b)	11,1 (ab)	13,1 (ab)	11,1 (ab)	21,2 (a)
Sabor de caramelo	10,1 (ab)	14,1 (ab)	6,1 (b)	7,1 (b)	19,2 (a)
Sabor de melão	12,1 (ab)	12,1 (ab)	9,1 (b)	6,1 (b)	23,2 (a)
Salgada	8,1 (a)	11,1 (a)	16,2 (a)	16,2 (a)	7,1 (a)
Doce	16,2 (a)	20,2 (a)	17,2 (a)	18,2 (a)	23,2 (a)
Azeda	13,1 (b)	15,2 (b)	43,4 (a)	42,4 (a)	10,1 (b)
Amarga	23,2 (ab)	27,3 (ab)	20,2 (b)	19,2 (b)	37,4 (a)
Sabor cítrico	14,1 (b)	13,1 (b)	43,4 (a)	36,4 (a)	16,2 (b)
Sabor medicinal (remédio)	25,3 (a)	20,2 (ab)	10,1 (bc)	12,1 (bc)	7,1 (c)
Sabor de Baunilha	9,1 (a)	12,1 (a)	8,1 (a)	4,0 (a)	9,1 (a)
Sabor de coco	7,1 (ab)	13,1 (a)	10,1 (a)	0 (b)	7,1 (ab)
Sabor de frutas secas	12,1 (a)	17,2 (a)	15,2 (a)	22,2 (a)	11,1 (a)
Sabor de damasco	7,1 (a)	7,1 (a)	14,1 (a)	6,1 (a)	8,1 (a)
Sabor de carambola	6,1 (bc)	3,0 (c)	14,1 (ab)	19,2 (a)	10,1 (abc)
Corpo leve	16,2 (b)	24,2 (ab)	31,3 (a)	35,4 (a)	13,1 (b)
Sensação alcoólica	38,4 (a)	27,3 (a)	29,3 (a)	36,4 (a)	40,4 (a)
Espuma persistente	12,1 (a)	15,2 (a)	10,1 (a)	11,1 (a)	8,1 (a)
Encorpada	30,3 (ab)	26,3 (bc)	26,3 (bc)	13,1 (c)	44,4 (a)

Tabela 13. Teste de comparações múltiplas

Como observado na tabela 13, na aparência: as amostras envelhecidas em Amburana 1, Amburana 2, Carvalho Francês e Jequitibá Rosa foram consideradas com cor âmbar clara por mais consumidores (40,4%, 39,4%, 40,4 e 50,5%, respectivamente) do que a cerveja T0 (16,2%). A amostra T0 se destacou notavelmente por apresentar uma coloração mais escura, conforme evidenciado pelos atributos "cor âmbar escura" e "cor marrom", nos quais essa amostra obteve as maiores porcentagens de reconhecimento por parte dos consumidores, totalizando 32,3% e 27,3%, respectivamente. Essa maior percepção da cor para a amostra de cerveja não envelhecida pode estar relacionada ao processo de oxidação que ocorreu ao longo dos 6 meses de envelhecimento, mesmo sendo armazenada em um ambiente inerte, porém, sem pressurização. Este processo de oxidação pode afetar compostos na cerveja que, por sua vez, podem contribuir para o escurecimento da bebida, incluindo a oxidação de taninos, conforme discutido por Maciel et al. (2013).

Quanto à turbidez das amostras, observou-se que a cerveja sem envelhecimento foi aquela que recebeu maior destaque por parte dos consumidores, embora não tenha apresentado diferença estatisticamente significativa em relação à amostra de amburana 2. Entretanto, em comparação com as demais amostras, a diferença se mostrou estatisticamente significativa.

Ao examinar o atributo de aroma cítrico, torna-se evidente que as amostras de cerveja envelhecida em carvalho francês e jequitibá rosa foram aquelas em que os consumidores identificaram predominantemente a presença desse aroma, destacando-se de maneira estatisticamente significativa em relação às demais amostras. Essa tendência se estende a atributos correlacionados, como sabor azedo e sabor cítrico, nos quais as amostras envelhecidas em jequitibá e carvalho também se mostraram as mais proeminentes, com significância estatística.

No que diz respeito ao atributo de aroma de acetona, foi observado que apenas as amostras de cerveja envelhecida em madeira e jequitibá apresentaram uma significância estatística, destacando-se como aquelas em que os provadores identificaram mais proeminentemente esse aroma, representando um total de 37,4%. Esse resultado difere estatisticamente de todos os outros tratamentos analisados.

As amostras denominadas "Amburana 1" e "Amburana 2", as quais representavam réplicas da mesma madeira, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si em nenhum dos atributos analisados na tabela. No entanto, é relevante observar que os barris de amburana se distinguiram estatisticamente de todas as demais madeiras em três atributos específicos: "aroma de especiarias", "aroma de madeira" e "sabor medicinal". De acordo com as percepções dos provadores, as cervejas envelhecidas em barris de amburana foram as que mais evidenciaram esses atributos, diferenciando-se das amostras envelhecidas em outras madeiras.

No gráfico *screen plot* (Figura 32), verificou-se que 95,3% da variância total entre as amostras, poderiam ser explicadas nas três primeiras dimensões multivariadas, sendo que as duas primeiras explicam correspondente a 84,79% da variância, e foram essas escolhidas para análise.

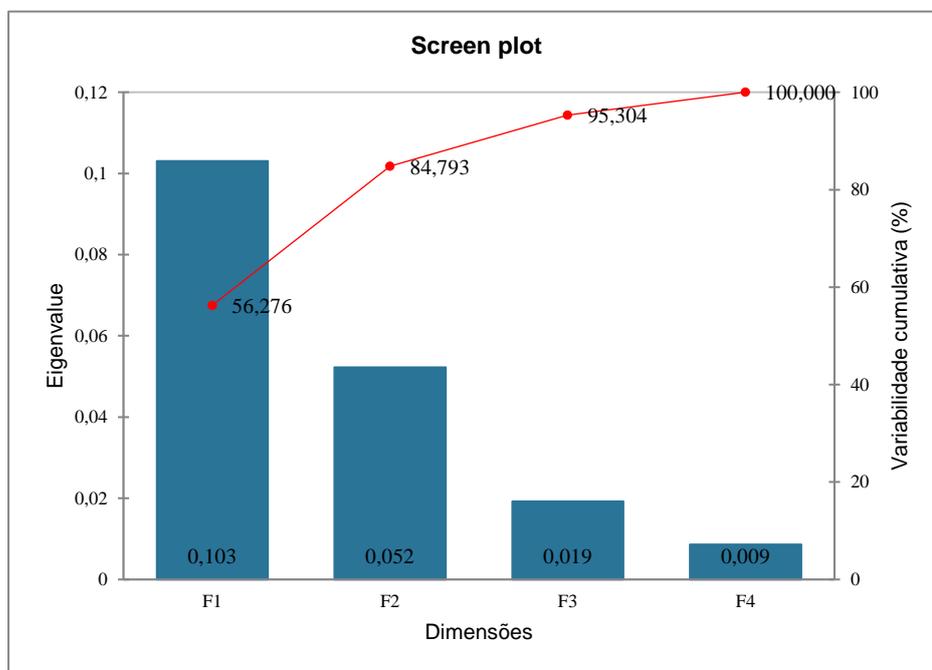


Figura 34. Porcentagem da variância explicada pelas dimensões fatoriais

Ao analisarmos as duas primeiras dimensões, F1 e F2, mostradas na Figura 33 podemos notar que a amostra de cerveja que não foi envelhecida, encontra-se distante das amostras que passaram pelo envelhecimento em madeira, assim como visto por Silvello, et al. (2020) onde foi constatado que cervejas envelhecidas em barris de madeiras tropicais, conferiram características únicas as cervejas e o período de 6 meses de envelhecimento foram suficientes para gerar diferenças perceptíveis no aroma, cor, sabor e sensação na boca.

Os atributos que mais foram encontrados nas amostras da cerveja não envelhecida, foram aroma de malte e levedura, sabor de caramelo e melão, e encorpada, o que segundo o guia de estilos de cerveja (BJCP, 2015) condiz com o estilo estudado nessa pesquisa, sendo que ele define uma Belgian Golden Strong ale como um ale do estilo belga, forte com um casamento de sabores condimentados e de álcool com o apoio de um caráter de malte e caramelo.

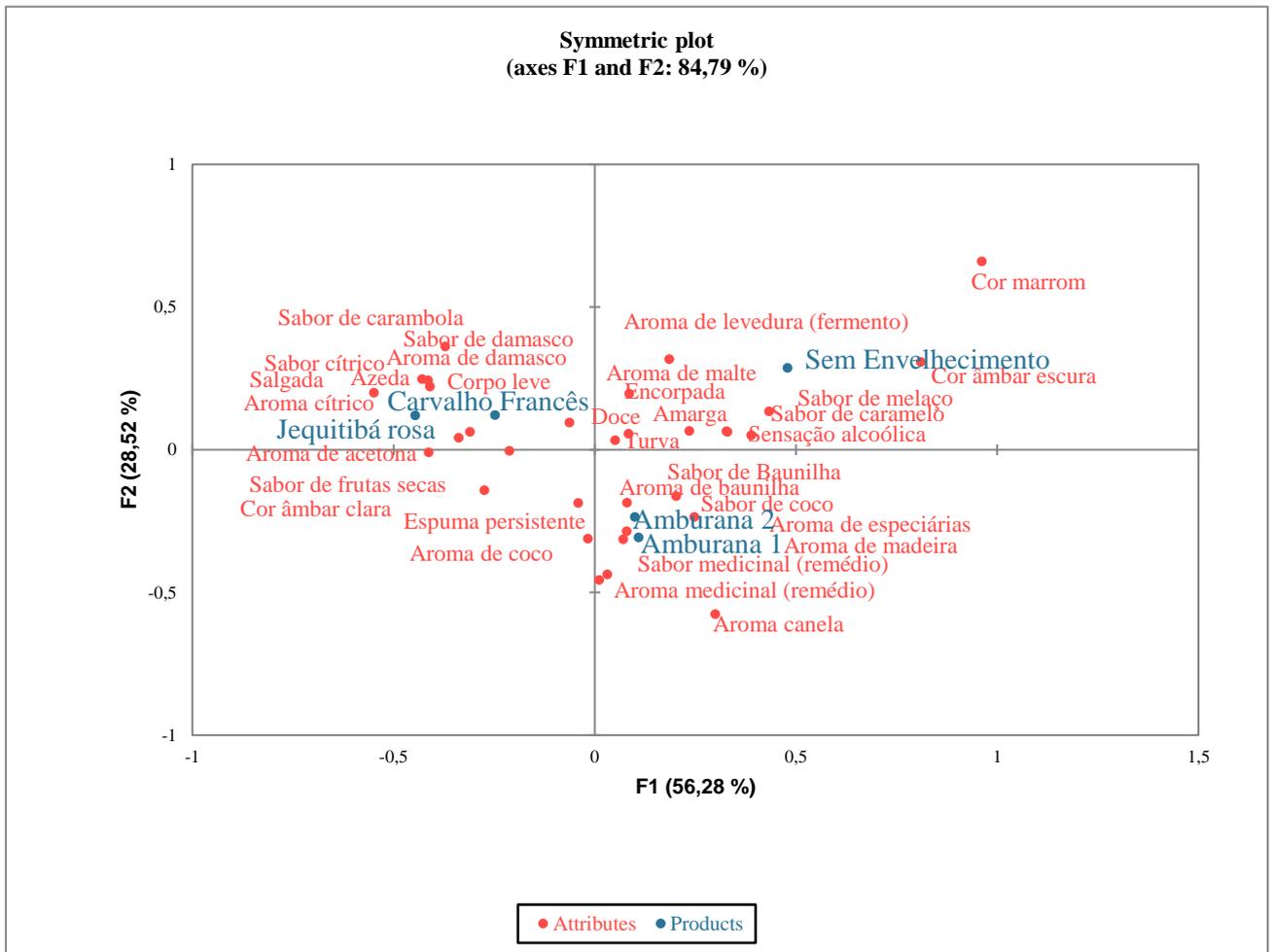


Figura 35. Representação das amostras de cerveja nas dimensões 1 e 2 em relação aos atributos considerados na análise sensorial

É possível constatar que as amostras envelhecidas em barris de amburana apresentaram uma proximidade substancial entre si, especialmente em relação a características nas quais essas amostras se destacaram estatisticamente em comparação com as outras madeiras. Esses atributos são o "aroma de especiarias", "aroma de madeira" e "sabor medicinal".

As amostras de jequitibá rosa e carvalho francês foram observadas como próximas e compartilhando o mesmo quadrante, um resultado que está em consonância com as descobertas de Bortoletto (2016). Este estudo anterior revelou que, entre as madeiras brasileiras investigadas, o jequitibá rosa apresentou maior semelhança com o carvalho, devido às concentrações significativas de vanilina e ácido vanílico. Além disso, os atributos que se mostraram próximos a

essas amostras incluíram "aroma cítrico", "sabor azedo" e "sabor cítrico", nos quais as amostras de jequitibá rosa e carvalho francês diferiram estatisticamente das outras madeiras avaliadas

Ainda observando as duas primeiras dimensões, destaca-se que a avaliação global da cerveja (Figura 34) em relação aos atributos sensoriais demonstrou uma proximidade notável com os aromas de baunilha, especiarias e madeira, bem como com os sabores de melão, frutas secas e coco.

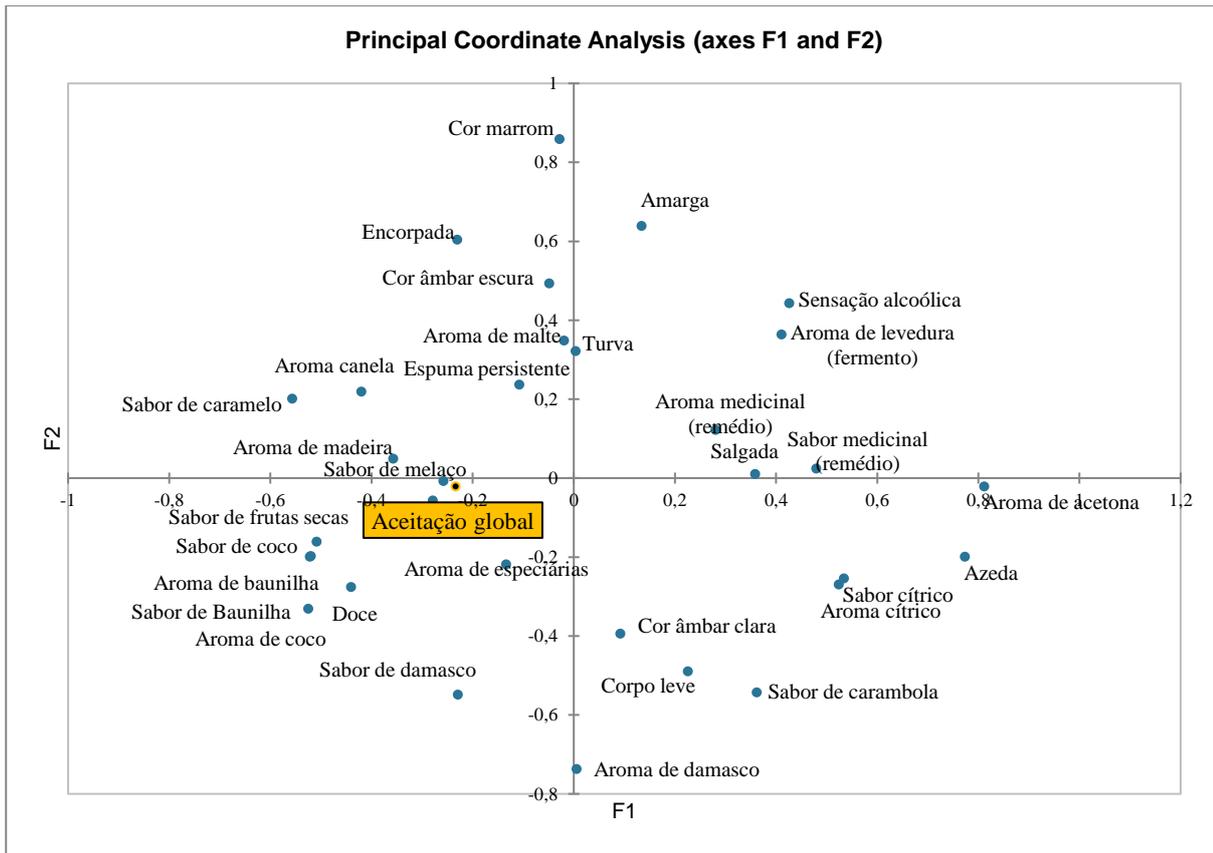


Figura 36. Aceitação global das amostras nas dimensões 1e 2

A Tabela 14 proporciona uma análise do impacto de cada atributo, conforme avaliado no questionário do CATA, sobre a aceitação global das amostras. Nessa tabela, é possível identificar quais desses atributos exerceram impactos, tanto positivos quanto negativos, bem como determinar se esses impactos foram estatisticamente significativos.

Tabela 14. Impacto de cada atributo na aceitação global das amostras

Atributo	Nível	%	Aceitação global (Média)	Impacto médio	Significativo
Cor âmbar clara	Ausente	62,63%	6,08		
	Presente	37,37%	6,31	0,232	Não
Cor âmbar escura	Ausente	87,88%	6,10		
	Presente	12,12%	6,70	0,599	
Cor marrom	Ausente	91,92%	6,18		
	Presente	8,08%	6,07	-0,107	
Turva	Ausente	70,91%	6,33		
	Presente	29,09%	5,79	-0,539	Sim
Aroma cítrico	Ausente	82,22%	6,17		
	Presente	17,78%	6,19	0,024	
Aroma de especiarias	Ausente	81,41%	6,08		
	Presente	18,59%	6,57	0,494	
Aroma de damasco	Ausente	92,32%	6,12		
	Presente	7,68%	6,78	0,667	
Aroma de acetona	Ausente	82,83%	6,38		
	Presente	17,17%	5,14	-1,247	
Aroma canela	Ausente	93,13%	6,16		
	Presente	6,87%	6,29	0,129	
Aroma de coco	Ausente	93,33%	6,12		
	Presente	6,67%	6,84	0,723	
Aroma de baunilha	Ausente	88,89%	6,14		
	Presente	11,11%	6,40	0,255	
Aroma de madeira	Ausente	51,72%	6,10		
	Presente	48,28%	6,24	0,133	Não
Aroma medicinal (remédio)	Ausente	87,47%	6,37		
	Presente	12,53%	4,74	-1,637	
Aroma de levedura (fermento)	Ausente	76,97%	6,21		
	Presente	23,03%	6,03	-0,180	Não
Aroma de malte	Ausente	87,47%	6,13		
	Presente	12,53%	6,43	0,299	
Sabor de caramelo	Ausente	88,69%	6,08		
	Presente	11,31%	6,83	0,750	
Sabor de melão	Ausente	87,47%	6,10		
	Presente	12,53%	6,67	0,576	
Salgada	Ausente	88,28%	6,25		
	Presente	11,72%	5,53	-0,724	
Doce	Ausente	81,01%	6,07		
	Presente	18,99%	6,60	0,534	
Azeda	Ausente	75,15%	6,54		
	Presente	24,85%	5,04	-1,497	Sim
Amarga	Ausente	74,55%	6,32		

	Presente	25,45%	5,73	-0,584	Sim
Sabor cítrico	Ausente	75,35%	6,21		
	Presente	24,65%	6,04	-0,176	Não
Sabor medicinal	Ausente	85,05%	6,42		
(remédio)	Presente	14,95%	4,75	-1,666	
Sabor de Baunilha	Ausente	91,52%	6,11		
	Presente	8,48%	6,85	0,747	
Sabor de coco	Ausente	92,53%	6,17		
	Presente	7,47%	6,21	0,046	
Sabor de frutas secas	Ausente	84,44%	6,02		
	Presente	15,56%	7,00	0,978	
Sabor de damasco	Ausente	91,52%	6,09		
	Presente	8,48%	7,07	0,981	
Sabor de carambola	Ausente	89,49%	6,13		
	Presente	10,51%	6,53	0,408	
Corpo leve	Ausente	75,96%	6,13		
	Presente	24,04%	6,30	0,170	Não
Sensação alcoólica	Ausente	65,66%	6,27		
	Presente	34,34%	5,98	-0,291	Não
Espuma persistente	Ausente	88,69%	6,13		
	Presente	11,31%	6,46	0,328	
Encorpada	Ausente	71,92%	5,98		
	Presente	28,08%	6,66	0,689	Sim

Conforme evidenciado na Tabela 14, foi observado um impacto significativo na aceitação global das cervejas envelhecidas, com efeitos positivos quando o atributo "encorpada" era assinalado pelo quadro de provadores, e efeitos negativos quando os atributos "turva", "azedo" e "amargo" eram assinalados. Quando a cerveja era percebida como "encorpada", sua aceitação global aumentava, passando de 5,980 para 6,669. Em contraste, para os outros atributos significativos, a assinalação desses atributos no questionário resultava em uma diminuição na aceitação global da cerveja. Para o atributo "turva", a queda era de 6,330 para 5,792; para o atributo "amarga", a queda era de 6,322 para 5,738; e, finalmente, para o atributo "azedo", a queda na aceitação global era mais significativa, indo de 6,546 para 5,049. A Figura 35 subsequente ilustra esse impacto dos atributos significativos.

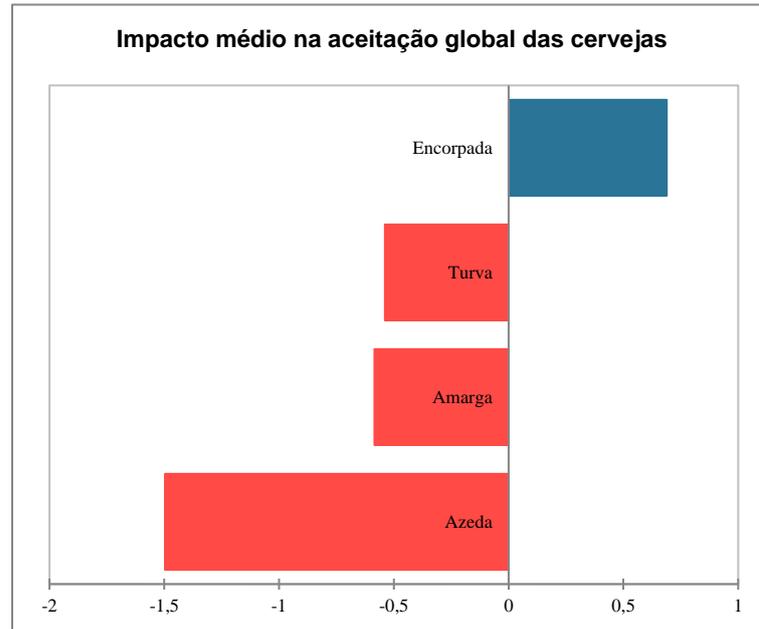


Figura 37. Impacto dos atributos significativo na aceitação global

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independente da madeira utilizada, houve influência das madeiras nos aspectos químicos e sensoriais, onde sempre a cerveja sem envelhecimento se mostrou distante das amostras de cervejas envelhecidas em madeira.

Todos os atributos avaliados (aparência, aroma, sabor e sensação na boca) pela análise sensorial, se mostraram aceitos pelos provadores, sendo que para todas as madeiras utilizadas no estudo, o quadro de provadores classicou entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente em todas as variáveis analisadas.

Em 81,25% dos descritores analisados se mostraram significativos para os provadores para definirem as amostras de cerveja, e quando o descritor “Encorpada” era assinalado, a aceitação global das amostras subia significativamente, ao contrário de quando era assinalada os descritores, turva, azeda e amarga.

Sensorialmente, as amostras de cerveja de jequitibá rosa e carvalho francês, se mostraram próximas, e distantes das amostras de amburana. A cerveja envelhecida em todas as madeiras estudadas apresentaram-se distantes da cerveja sem envelhecimento.

Quimicamente, o envelhecimento em madeiras, proporcionou uma queda no amargor das cervejas, exceto na madeira de amburana. A cor aumentou para todas as madeiras e o teor alcoólico sofreu uma diminuição em todos os tratamentos. A concentração de fenólicos totais das amostras aumentou com o tempo de envelhecimento, independente do tipo de madeira utilizada.

As madeiras nacionais avaliadas, a Amburana e o Jequitibá rosa, demonstraram um significativo potencial para serem aplicadas no processo de envelhecimento de cerveja em barris de madeira. Isso pode resultar na criação de produtos cervejeiros complexos e autênticos, contribuindo para a singularidade da cerveja brasileira. É importante ressaltar que os atributos sensoriais proporcionados por essas espécies de madeira podem desempenhar um papel crucial na formulação de novos produtos cervejeiros. No entanto, devido à escassez de trabalhos publicados nessa área, é sugerido que sejam realizados estudos mais aprofundados relacionados à cerveja e madeira, especialmente em relação ao tempo de maturação e às possíveis técnicas de blend a serem empregadas após o envelhecimento podendo abrir novas perspectivas para a inovação na produção cervejeira.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, M.; Freitas-Sá, D. G. C. **Rapid and versatile sensory descriptive methods – an updating of sensory science**. Braz. J. Food Technol., v. 21, e2016179, 2018.
- ALMEIDA, D. S.; BELO, R. F. C. **Análise físico-química de cervejas artesanais e industriais comercializadas em Sete Lagoas-MG**. Faculdade Ciências da Vida, Sete Lagoas, 2017. Disponível em: <http://jornal.faculdadecienciasdavidacom.br/index.php/RBCV/article/download/362/232>. Acesso em: 10 set. 2023.
- ALMEIDA, J. R. G. S. et al. **Amburana cearensis uma revisão química e farmacológica**. Scientia Plena, Aracaju, v. 6, n. 11, nov. 2010. Disponível em: <<http://www.scientiaplenu.org.br/ojs/index.php/sp/article/view/106>>. Acesso em: 24 set. 2023.
- AMERINE, M. A.; OUGH, C. S. **Methods for analysis of musts and wines**, New York: John Wiley & Sons, 1980. 341 p.
- ANDRADE, A. R. de. **Perfil Sensorial e qualidade química de vinho tinto da variedade Merlot envelhecido em barris de diferentes madeiras**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.
- ANDRADE, J. C. de; **Química analítica básica: os conceitos ácido-base e a escala de pH**. Chemkeys. Licenciado sob Creative Commons (BY-NC-AS), 2010. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9642/5061>
- ANGELONI, L. H. P. **Cerveja envelhecida em barril de madeira, aspectos químicos e microbiológicos**. Diss. Universidade de São Paulo, 2016.
- AUGUSTI, R. et al. Perfil de compostos voláteis de um novo estilo de cerveja. **CIÊNCIAS AGRÁRIAS: O AVANÇO DA CIÊNCIA NO BRASIL-VOLUME 1**, v. 1, n. 1, p. 291-308, 2021.
- BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM (BJCP). **25C. Belgian Golden Strong Ale**. Style Guidelines. 2015. 79p
- BELITZ H. D., GROSCH W, SCHIEBERLE P. **Food chemistry**. 4rd rev. ed. Burghagen MM, translator. Berlin: Springer; 2009. 1114 p.
- BORTOLETTO, A. M. **Influência da madeira na qualidade química e sensorial da aguardente de cana envelhecida**. Tese (doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 321 p. 2016.

- CALLEJO, M. J.; GONZALEZ, C.; MORATA, A. Use of Non-Saccharomyces Yeasts in Botle Fermentation of Aged Beers, *Brewing Technology*, Ph.D. Makoto Kanauchi (Ed.), InTech, 2017. Disponível em: Acesso em: Fev. 2022
- CANTWELL, D.; BOUCKAERT, P. *Wood & Beer: A Brewer's Guide*. Boulder: Brewers Publications, 2016.
- CASTRO, M.C. de. **Caracterização química e sensorial do grau de maturação de cachaça envelhecida em tonéis novos de carvalho: avaliação dos compostos fenólicos marcadores de envelhecimento**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.
- CARDELLO, H. M. A. B; FARIA, J. B. **Modificações físico-químicas e sensoriais de aguardente de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (quercus alba l.)** B.CEPPA Curitiba, v. 15, n. 2, p. 87-100, jul./dez.1997
- CATÃO, C.G.; PAES, J.B.; GOMES, J.P.; ARAÚJO, G.T. **Qualidade da madeira de cinco espécies florestais para o envelhecimento da cachaça**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.7, p.741-747, 2011.
- CISA - Centro de Informações sobre Saúde e Álcool, 2022. **Álcool e a Saúde dos Brasileiros: Panorama 2022 /** Organizador: Arthur Guerra de Andrade; Centro de Informações sobre Saúde e Álcool. - 1. ed. - 200 p.; il.; gráfs.; tabs.; fotografias. E-Book: 1,2 Mb; PDF. São Paulo.
- COELHO NETO, D. M.; MOREIRA, L. L. P. F.; CASTRO, E. V. R. de; SOUZA, W. B.; FILGUEIRAS, P. R.; ROMÃO, W.; FOLLI, G. S. Lacerda Jr., V. **Estudo do perfil químico de cervejas brasileiras**. Quím. Nova, Vol. 45, No. 5, 518-530, 2022.
- CORNIANI, L. S. **Qualidade química e sensorial de cachaça envelhecida em barris de carvalho de diferentes espécies e quantidade de uso**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.
- CURI, R.A. **Produção de cerveja utilizando cevada como adjunto de malte**. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- DE KEUKELERIE, D. **Fundamentals of beer and hop chemistry**. Química Nova, n. 23, p. 108-112, 2000.
- DELAHUNTY, C.M., CONNER, J.M., PIGGOTT, J.R., PATERSON, A. **Perception of heterocyclic nitrogen compounds in mature whisky**. J. Inst. Brew., v. 99, p. 479-82, 1993.
- DELAHUNTY, C. M.; MCCORD, A.; O'NEILL, E. E.; MORRISEY, P.A. **Sensory characterization of cooked hams by untrained consumers using free-choice profiling**. Food Quality and Preference, vol 8, p. 381388, 1997.

EBC. (1987). European Brewery Convention. Disponível em <<https://brewup.eu/ebcanalytica>>. Acesso em: 26 de março de 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Agrobusiness Handbook**. 2009. Disponível em <<http://www.fao.org/3/i1002e/i1002e00.pdf>> acesso em 12/07/2020.

FERREIRA, A. C; PEREIRA, M.M.O; REZENDE, D.C de; VIEIRA, A. S; **Motivações de compra e hábitos de consumo: um estudo com apreciadores de cerveja artesanal**. Revista da Micro e Pequena Empresa, Campo Limpo Paulista, v.13, n.1 p. 12-31, 2019 ISSN 1982-2537

FERRETO, A. M. **Determinação da acidez total de vinhos e mostos**, 2003

FREITAS, G. L. **Potencial antioxidante e compostos fenólicos na cerveja, chopp, cevada (*Hordeum vulgare L.*) e no bagaço de brassagem**. 2006. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC.

GUIMARÃES, B.P.; NEVES L.E.P.; GHESTI G.F.; **Evaluation of maturation congeners in beer aged with Brazilian woods**. Journal of Brewing and Distilling. Vol. 9, pp 1-7. 2020.

JAEGER, S. R. et al. Holistic and consumer-centric assessment of beer: A multi-measurement approach. **Food Research International**. 2017.

JOSSE, J. PAGÈS, J., HUSSON, F. Testing the significance of the RV coeficiente. **Computational Statistics & Data Analysis**, Vol. 53, Issue 1, 2008, Pages 82-91, ISSN 0167-9473.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 1–18, 2008. DOI: 10.18637/jss.v025.i01. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v025i01>. Acesso em: 7 sep. 2023.

LENTZ, M. **The Impact of Simple Phenolic Compounds on Beer Aroma and Flavour**. Fermentation, vol. 4, n. 20, p. 1-13, 2018. Disponível em: Acesso em: Fev. 2022.

MACHADO, E.R. **Desenvolvimento e caracterização de cerveja artesanal com adição de cacau**. 46 f. Tese (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

MACIEL, D. C., Elói, L. M. H., & Jordão, C. de O. **Compostos Fenólicos em Diferentes Marcas de Cerveja: Comparação Qualitativa de Diferentes Marcas e Sua Relação com a Saúde Humana**. Revista Brasileira Multidisciplinar, 16(1), 41-52. 2013. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2013.v16i1.40>

- MAFRA, E. **Brasil mostra que é um país cada vez mais cervejeiro**. Revista Digital Forbes. Forbes Agro, 2022. - Disponível em < <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/09/brasil-mostra-que-e-um-pais-cada-vez-mais-cervejeiro/> > acesso em 08/09/2023.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – **Anuário da Cerveja 2022**. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2022/> > acesso em 10/01/2024.
- MEYNEERS, M., Castura, J. C., & Carr, B. T. (2013). **Existing and new approaches for the analysis of CATA data**. Food Quality and Preference, 30(2), 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.06.010>
- MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Editora Lafonte Ltda., 2009.
- MORDOR. **Relatório do mercado de cerveja 2023**. Mordor Intelligence. 2023. MORDOR INTELLIGENCE – Source: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/beer-market>
- MOSHER, M.; TRANTHAM, K. **Brewing Science, A Multidisciplinary Approach**. Ed. Springer; Switzerland, 2017. 412p.
- MOSHER, R. **Radical Brewing: Receitas, contos e idéias transformadoras em um copo de cerveja**. Ed. Letramento, Belo horizonte, 2018. P. 1-328.
- NACHENIUS, R. W.; RONSSE, F.; VENDERBOSCH, R. H.; PRINS, W. **Biomass Pyrolysis**, Adv. Chem. Eng., vol. 42, p. 75-139, 2013.
- NEVES, Luis Eduardo Pereira. **Identificação de compostos voláteis associados à maturação de cerveja em madeira**. 2018.
- OLIVER, Garrett. **The Brewmaster's Table: Discovering the Pleasure of Real Beer with Real Food**. Ed. Harper Collins. 2003. ISBN 978-85-396-0174-5
- PINTO, L. I. F.; ZAMBELLI, R. A.; SANTOS Junior, E. C. dos; PONTES, D.F. **Desenvolvimento de cerveja artesanal com acerola (Malpighia emarginata DC) e abacaxi (Ananas comosus L. Merrill)**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Paraíba, v.10, n.4, p.67 – 71, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3416>. Acesso em: 02 set. 2023.
- REAZIN, G. H. **Chemical mechanisms in whiskey maturation**. American journal of Enology and Viticulture, Davis, v. 32, n. 4, p.238-289, 1981.

- REGO, G. M.; POSSAMAI, E. **Efeito do Sombreamento sobre o Teor de Clorofila e Crescimento Inicial do Jequitibá-rosa**. Pesquisa Florestal Brasileira, [S. l.], n. 53, p. 179, 2011. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/210>. Acesso em: 23 set. 2023.
- SILVA, M. J. S. **Produção de cerveja artesanal tipo Weiss adicionada de manga cv. espada**. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.
- SILVA, P.H.A.; FARIA, F.C. **Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, n. 28, p. 902-906, 2008.
- SILVA, R. N. P. da .; DIAS, J. F.; KOBLITZ, M. G. B. **Beers: relationship between styles; phenolic compounds and antioxidant capacity**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e42210313471, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13471. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13471>. Acesso em: 13 sep. 2023.
- SILVELLO, G. C. **Qualidade química e perfil sensorial da cerveja envelhecida em barris de diferentes madeiras**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/D.11.2019.tde-23052019-170957. Acesso em: 2020-07-20.
- SILVELLO, G. C., BORTOLETTO, A. M., ALCARDE, A.R. The barrel aged beer wheel: a tool for sensory assessment. **The Institute of Brewing & Distilling**, J. Inst. Brew. 2020; 126: 382–393
- SIQUEIRA, P. B.; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 19, n. 4, p. 491-498, 2009.
- SINGLETON, V. L. Maturation of wine and spirits - comparisons, fact and hypotheses. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 46, n. 1, p. 98-115, 1995.
- SKIPPER, S.; PERKFOLD, J. **Statsmodels: Econometric and statistical modeling with python.**” Proceedings of the 9th Python in Science Conference. 2010.
- SPIESS. S. A cor da cerveja. O caneco, 2016. Disponível em: <https://www.ocaneco.com.br/cor-da-cerveja/> Acesso em: Jun. de 2021.
- TAYLOR, K. **Sour Beers: It's more than just Ph**. Craft brewers conference, v. 1, n. 1, p 12-16, 2015.
- WHITE, Chris; ZAINASHEFF, Jamil. **Levedura: guia prático para fermentação de cerveja**. Porto Alegre: Krater, 2020. 328 p.

WILLIAMS, E.J. Experimental designs for the estimation residual effects os treatments. Austral. **Australian Journal of Scisnce Research**, vol 2, p. 149-168, 1949.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O TCLE é o documento básico e fundamental do protocolo e da pesquisa com ética. É a fonte de esclarecimento que permite ao sujeito da pesquisa tomar sua decisão, de participar do projeto como voluntário, de forma justa e sem constrangimentos. É a proteção legal e moral do pesquisador, posto que é a manifestação clara de concordância com a participação na pesquisa. Uma via do TCLE assinado pelo participante deverá ser arquivada pelo pesquisador e uma via do TCLE assinado pelo pesquisador será entregue ao participante.

Objetivo da pesquisa: Avaliar a influência química e sensorial de madeiras no envelhecimento de cervejas.

Procedimentos que serão utilizados: Foi produzido cerveja do estilo Belgian Golden Strong ale e envelhecidas em barris de madeiras. Após o envelhecimento, as amostras passaram por análises químicas. Nesta etapa da pesquisa, será realizada a análise sensorial utilizando o método CATA, aos quais serão oferecidas 5 amostras contendo 30 ml de cerveja e será realizada em uma sessão.

1. **Riscos possíveis e benefícios esperados:** nesta pesquisa, os riscos relacionados ao consumo de bebidas alcoólicas existem e serão minimizados, pois os participantes serão aconselhados a não consumir, ou seja, não deglutir o produto durante a sessão de análise sensorial, visto que nenhuma quantidade de etanol no sangue é permitida pela legislação nacional para a condução de veículos. O benefício da pesquisa será a obtenção de resultados práticos e realistas que contribuam para o desenvolvimento do envelhecimento de cervejas em madeiras brasileiras. A pesquisa será acompanhada integralmente pelo seu responsável, o qual garante total assistência ao sujeito durante a realização da pesquisa.

- Fica garantido o direito de esclarecimento de qualquer dúvida ou curiosidade do voluntário, quer seja antes, durante ou após a realização da pesquisa.

- Fica garantido aos sujeitos da pesquisa o direito de recusar a participar em qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer penalidade.

- Fica garantido o sigilo de dados confidenciais ou que, de algum modo, possam provocar constrangimentos ou prejuízos ao voluntário. Os dados serão publicados e apresentados em reuniões científicas sem identificação dos voluntários.

- Fica garantido que eventuais despesas decorrentes da participação na pesquisa serão ressarcidas integralmente. Isto inclui apenas as despesas com a participação na pesquisa e que não teria se não participasse;

- Conforme já citado há riscos, porém se não houver a deglutição do produto, esses serão minimizados.

- Uma via do TCLE será entregue ao voluntário.

- O provador tem que apresentar, obrigatoriamente, idade maior de 18 anos e não ser dependente ou apresentar qualquer problema de saúde com ingestão de bebida alcoólica.

Eu, _____, CPF. nº _____, declaro ter sido informado e concordo em participar, como voluntário, do projeto de pesquisa acima descrito.

APÊNDICE B. Questionário preenchido pelo quadro de provadores

Análise sensorial de cervejas envelhecidas em madeiras

Agradecemos sinceramente pela sua presença e disponibilidade em participar da análise sensorial das cervejas envelhecidas em madeiras. Esta atividade faz parte de um projeto de mestrado desenvolvido no Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Bebidas da Esalq, com o intuito de aprofundar o entendimento sobre as características e influências das madeiras na qualidade das cervejas.

Sua participação é fundamental para o sucesso desta pesquisa e para a contribuição no avanço do conhecimento na área de produção de cervejas envelhecidas.

Caso tenha alguma dúvida ou necessite de mais informações, por favor, não hesite em entrar em contato conosco.

Cheers!

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Conforme apêndice 1)

Estou ciente do compromisso assumido.

Nome completo

CPF

E-mail

Instruções do teste

Você vai receber 5 amostras de cerveja, e vai preencher um questionário para cada uma delas.

Em cada parte do questionário estará explicado a forma correta de preenche-lo.

É importante que tome água e coma um pedaço de biscoito entre cada amostra, para limpeza do paladar.

Por favor não converse com outras pessoas que também estão fazendo a análise.

Chame quando estiver pronto para começar! 👍

Estou de acordo

Sim

Não

Questionário

Qual amostra você está recebendo?

- 911
- 342
- 765
- 421
- 882

O quanto você gostou ou desgostou dessa cerveja de MANEIRA GERAL?

- 9 - Gostei muitíssimo
- 8 - Gostei muito
- 7 - Gostei moderadamente
- 6 - Gostei ligeiramente
- 5 - Não gostei, nem desgostei
- 4 - Desgostei ligeiramente
- 3 - Desgostei moderadamente
- 2 - Desgostei muito
- 1 - Desgostei muitíssimo

O quanto você gostou ou desgostou da APARÊNCIA dessa cerveja?

- 9 - Gostei muitíssimo
- 8 - Gostei muito
- 7 - Gostei moderadamente
- 6 - Gostei ligeiramente
- 5 - Não gostei, nem desgostei
- 4 - Desgostei ligeiramente
- 3 - Desgostei moderadamente
- 2 - Desgostei muito
- 1 - Desgostei muitíssimo

Qual sua opinião em relação a COR dessa cerveja?

- 5 - Muito mais escura do que eu gosto
- 4 - Um pouco mais escura do que eu gosto
- 3 - Do jeito que eu gosto
- 2 - Um pouco mais clara do que eu gosto
- 1 - Muito mais claro do que eu gosto

Para você, como está a CARBONATAÇÃO (gás) dessa cerveja?

- 5 - Muito mais gás do que eu gosto
- 4 - Um pouco mais de gás do que eu gosto
- 3 - Do jeito que eu gosto
- 2 - Um pouco menos de gás do que eu gosto
- 1 - Muito menos gás do que eu gosto

O quanto você gostou os desgostou do AROMA dessa cerveja?

- 9 - Gostei muitíssimo
- 8 - Gostei muito
- 7 - Gostei moderadamente
- 6 - Gostei ligeiramente
- 5 - Não gostei, nem desgostei
- 4 - Desgostei ligeiramente
- 3 - Desgostei moderadamente
- 2 - Desgostei muito
- 1 - Desgostei muitíssimo

O quanto você gostou os desgostou do SABOR dessa cerveja?

- 9 - Gostei muitíssimo
- 8 - Gostei muito
- 7 - Gostei moderadamente
- 6 - Gostei ligeiramente
- 5 - Não gostei, nem desgostei
- 4 - Desgostei ligeiramente
- 3 - Desgostei moderadamente
- 2 - Desgostei muito
- 1 - Desgostei muitíssimo

Para você, como está o AMARGOR dessa cerveja?

- 5 - Muito mais amarga do que eu gosto
- 4 - Um pouco mais amarga do que eu gosto
- 3 - Do jeito que eu gosto
- 2 - Um pouco menos amarga do que eu gosto
- 1 - Muito menos amarga do que eu gosto

Qual sua opinião quanto as características de AROMA e SABOR aportadas pela MADEIRA?

- 5 - Muito mais madeira do que eu gosto
- 4 - Um pouco mais de madeira do que eu gosto
- 3 - Do jeito que eu gosto
- 2 - Um pouco menos de madeira do que eu gosto
- 1 - Muito menos madeira do que eu gosto

O quanto você gostou ou desgostou da SENSACÃO NA BOCA (corpo da cerveja, textura) dessa cerveja?

- 9 - Gostei muitíssimo
- 8 - Gostei muito
- 7 - Gostei moderadamente
- 6 - Gostei ligeiramente
- 5 - Não gostei, nem desgostei
- 4 - Desgostei ligeiramente
- 3 - Desgostei moderadamente
- 2 - Desgostei muito
- 1 - Desgostei muitíssimo

Marque na lista abaixo todas as características que você acha que se aplicam a essa cerveja que você

provou:

- Aroma cítrico
- Cor âmbar escura
- Sabor de frutas secas
- Turva
- Sabor de damasco
- Aroma de acetona
- Aroma de madeira
- Sabor de caramelo
- Sabor de coco
- Salgada
- Azeda
- Sabor de carambola
- Sabor medicinal (remédio)
- Cor âmbar clara
- Sensação alcoólica
- / Aroma de malte
- Sabor de baunilha
- Encorpada
- Aroma medicinal (remédio)
- Espuma persistente
- Corpo leve
- Sabor de melão
- Aroma de especiarias
- Aroma de canela
- Amarga
- Aroma de baunilha
- Cor marrom
- Aroma de damasco
- Doce
- Aroma de levedura (fermento)
- Sabor cítrico
- Aroma de coco

Se essa cerveja estivesse disponível onde você geralmente costuma comprar suas cervejas, você:

- 5 – Com certeza compraria
- 4 – Provavelmente compraria
- 3 – Não tenho certeza se compraria ou não
- 2 – Provavelmente não compraria
- 1 – Com certeza não compraria

Perfil do avaliador

Qual sua idade?

Qual seu sexo?

Masculino

Feminino

Escolaridade

Ensino fundamental incompleto

Ensino fundamental completo

Ensino superior incompleto

Ensino superior completo

Pós graduação incompleta

Pós graduação completa

Com que frequência você costuma consumir cerveja?

3 ou mais vezes por semana

1 a 2 vezes por semana

1 vez a cada 15 dias

1 vez por mês

1 vez a cada 3 meses

Não costumo consumir cervejas

Quais estilos de cerveja você costuma consumir? (Marque todas que se aplicam)

Lager (Pilsens)

IPA (India Pale Ale)

Wheat Beer (Cervejas de trigo)

Stout e Porter

Sour Beers (Cervejas ácidas)

Pale Ale

Amber e Red ale

Belgian Ales

Não sei quais estilos costumo consumir

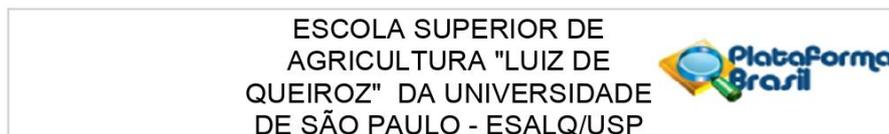
Você já tinha provado cerveja envelhecida?

Sim

Não

ANEXOS

ANEXO A. Parecer consubstanciado do Comitê de Ética na Pesquisa (CEP) de aprovação da análise sensorial desenvolvida durante este projeto.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: PERFIL QUÍMICO E SENSORIAL DE CERVEJA DO ESTILO BELGIAN GOLDEN STRONG ALE ENVELHECIDA EM CARVALHO FRANCÊS (*Quercus petraea*) E MADEIRAS BRASILEIRAS: AMBURANA (*Amburana cearensis*) E JEQUITIBÁ

Pesquisador: DANILO OLIVEIRA CIPRIANO

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 65315622.9.0000.5395

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.875.057

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e "Avaliação de Riscos e Benefícios" foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB_INFORMACOES_BASICAS_DO_PROJETO_2037537, de 10/01/2023) Resumo, Metodologia, Critérios de Inclusão e Critérios de Exclusão). O projeto de pesquisa "Perfil químico e sensorial de cerveja do estilo belgian golden strong ale envelhecida em carvalho francês (*Quercus petraea*) e madeiras brasileiras: amburana (*Amburana cearensis*) e Jequitibá (*Cariniana legalis*)", de acordo com os autores Danilo Oliveira Cipriano e André Ricardo Alcarde descrevem que "com um crescimento exponencial em todo o mundo, o setor cervejeiro está cada vez mais buscando produtos com qualidade diferenciada para atender os mais exigentes consumidores. Existe uma infinidade de ingredientes que podem ser adicionados aos insumos básicos para acrescentar sabores, aromas, textura entre outras características no produto final. A rica flora brasileira conta com inúmeras espécies de madeiras que possuem potencial de trazer inovação e diversidade para as cervejas. Diante disso, o projeto busca acompanhar a evolução na composição química da cerveja envelhecida com madeira. O projeto utilizará madeira de Carvalho Francês (*Quercus petraea*), madeira mais utilizada no mundo para envelhecimento de bebidas, em comparação com duas madeiras nacionais, Amburana (*Amburana cearensis*) e Jequitibá rosa (*Cariniana legalis*). As amostras serão coletadas a cada mês, num período total de 6 meses de envelhecimento e serão

Endereço: Avenida Pádua Dias, 11 Caixa Postal 9	CEP: 13.418-900
Bairro: São Dimas	
UF: SP	Município: PIRACICABA
Telefone: (19)3429-4315	E-mail: cep.esalq@usp.br

ESCOLA SUPERIOR DE
AGRICULTURA "LUIZ DE
QUEIROZ" DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - ESALQ/USP



Continuação do Parecer: 5.875.057

comparadas química e sensorialmente, tendo como base de análise a cerveja fresca, onde possibilitará avaliar as modificações ocorridas. O estilo de cerveja será o Belgian Golden Strong Ale com 8,6% de ABV, 20 IBU, 10,1 EBC e OG de 1084, conforme indica o guia de estilos BJCP. As amostras serão avaliadas mediante as análises de indicadores de qualidade de cerveja, tais como pH, cor, amargor, teor alcoólico, compostos fenólicos totais, bem como análise sensorial". Os autores propõem a utilização da metodologia de mapeamento projetivo Napping, acompanhada pelo método descritivo Ultra Flash Profile, por ser uma alternativa mais rápida a Análise Descritiva Quantitativa. A metodologia em detalhes, durante o mapeamento projetivo Napping, os provadores agruparão as quatro taças ISO especialmente em uma folha branca A3 de acordo com suas particularidades. Espera-se que as amostras semelhantes sejam agrupadas próximas umas às outras e, as distintas, mais afastadas. Através do Ultra Flash Profile, será possível obter informações a respeito das principais características de cada uma das amostras uma vez que, após agrupá-las, o provador escreverá ao lado das taças os atributos que considerar mais evidentes em cada amostra (por exemplo, aroma amadeirado, sabor frutado, retrogosto picante, entre outros). Todas as análises estatísticas serão realizadas no ambiente R, com o pacote FactoMineR.

Objetivo da Pesquisa:

Comparar o perfil sensorial e químico de cerveja do estilo belgian golden strong ale envelhecida em barris de Amburana (Amburana cearenses), Jequitibá (Cariana Legalis) e Carvalho Francês (Quercus petraea).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Como apresentado pelos autores a pesquisa apresenta como risco o possível consumo de bebidas alcoólicas por parte dos participantes (todos adultos e sem problemas de saúde), no entanto, os pesquisadores declaram que os participantes serão advertidos a não consumirem o produto a ser degustado, o qual deverá ser sentido na boca e descartado em seguida. Indicado no TCLE que não será permitida a participação de menores de 18 anos, gestantes e dependentes do álcool

Os benefícios relacionados aos participantes são a colaboração e participação em uma pesquisa inédita e importante para a área de tecnologia de bebidas. E como benefícios do estudo seria a realização de uma pesquisa inédita e importante para a área de tecnologia de bebidas.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um estudo cujo objetivo principal é comparar o perfil sensorial da cerveja Belgian Golden Strong Ale envelhecida em barris de Carvalho Francês (método tradicional) com o perfil

Endereço: Avenida Pádua Dias, 11 Caixa Postal 9
Bairro: São Dimas **CEP:** 13.418-900
UF: SP **Município:** PIRACICABA
Telefone: (19)3429-4315 **E-mail:** cep.esalq@usp.br

**ESCOLA SUPERIOR DE
AGRICULTURA "LUIZ DE
QUEIROZ" DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - ESALQ/USP**



Continuação do Parecer: 5.875.057

sensorial da mesma cerveja envelhecida em madeiras nativas, avaliando a capacidade das mesmas como substitutas viáveis para o envelhecimento.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos de apresentação obrigatória estão presentes.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Todas as pendências apresentadas anteriormente foram respondidas de forma adequada e as alterações no projeto (cronograma atualizado), no cronograma e no TCLE foram realizadas.

Considerações Finais a critério do CEP:

Eventuais mudanças pretendidas no protocolo devem ser comunicadas como Emendas ao CEP por meio da Plataforma Brasil. Ao final da pesquisa os pesquisadores devem enviar o formulário de acompanhamento da pesquisa, preenchido, e cópia do trabalho final, como Notificação, por meio da Plataforma Brasil. Destaca-se que o parecer consubstanciado é o documento oficial de aprovação do sistema CEP/CONEP. Intercorrências ou eventos adversos devem ser relatados ao CEP por meio da Plataforma Brasil.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2037537.pdf	10/01/2023 15:37:49		Aceito
Outros	CARTA_RESPOSTA.pdf	10/01/2023 15:32:10	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Outros	Projeto_de_Pesquisa_CORRIGIDO.pdf	10/01/2023 15:22:17	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Outros	Participante_da_pesquisa_CORRIGIDO.pdf	10/01/2023 15:16:32	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_CORRIGIDO.pdf	10/01/2023 15:15:28	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Outros	Participante_da_pesquisa.pdf	16/11/2022 11:09:09	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Outros	Curriculo_Lattes_Andre.pdf	16/11/2022 11:08:27	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Outros	Curriculo_Lattes_Danilo.pdf	16/11/2022 11:07:57	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura	Projeto_de_Pesquisa.pdf	16/11/2022 11:00:39	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito

Endereço: Avenida Pádua Dias, 11 Caixa Postal 9

Bairro: São Dimas

CEP: 13.418-900

UF: SP

Município: PIRACICABA

Telefone: (19)3429-4315

E-mail: cep.esalq@usp.br

**ESCOLA SUPERIOR DE
AGRICULTURA "LUIZ DE
QUEIROZ" DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO - ESALQ/USP**



Continuação do Parecer: 5.875.057

Investigador	Projeto_de_Pesquisa.pdf	16/11/2022 11:00:39	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	16/11/2022 11:00:16	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracoes_dos_Pesquisadores.pdf	16/11/2022 10:59:55	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	16/11/2022 10:59:44	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_de_Infraestrutura.pdf	16/11/2022 10:59:33	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_da_Instituicao.pdf	16/11/2022 10:59:23	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_assinado.pdf	16/11/2022 10:56:55	DANILO OLIVEIRA CIPRIANO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PIRACICABA, 03 de Fevereiro de 2023

**Assinado por:
Marta Helena Fillet Spoto
(Coordenador(a))**

Endereço: Avenida Pádua Dias, 11 Caixa Postal 9
Bairro: São Dimas **CEP:** 13.418-900
UF: SP **Município:** PIRACICABA
Telefone: (19)3429-4315 **E-mail:** cep.esalq@usp.br

ANEXO B. Análise de variância pH

```

-----
Quadro da análise de variância
-----
          GL      SQ      QM      Fc      Pr>Fc
Tratamento  5 14563 2912.58 3.1517 0.021019
Residuo     30 27723  924.11
Total       35 42286
-----
CV = 65.17 %

-----
Teste de normalidade dos resíduos ( Shapiro-wilk )
Valor-p: 0.2219382
De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significancia, os resíduos podem ser considerados normais.
-----

Teste de homogeneidade de variancia
valor-p: 0.9993222
De acordo com o teste de bartlett a 5% de significancia, as variancias podem ser consideradas homogeneas.
-----

Teste de Scott-Knott
-----
  Grupos  Tratamentos  Medias
1         a           Am1 73.38327
2         a           Am2 73.37490
3         b           Cf1 47.31173
4         b           Jr2 31.90812
5         b           Cf2 28.46624
6         b           Jr1 25.44037
-----

```

ANEXO C. Análise de variância Acidez Total

```

-----
Quadro da análise de variancia
-----

```

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	5	16034	3206.9	3.4102	0.014755
Residuo	30	28212	940.4		
Total	35	44246			

```

-----
CV = 60.52 %
-----

```

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)
 Valor-p: 0.2178995
 De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

```

-----

```

Teste de homogeneidade de variancia
 valor-p: 0.9975111
 De acordo com o teste de bartlett a 5% de significancia, as variancias podem ser consideradas homogeneas.

```

-----

```

Teste de Scott-Knott

Grupos	Tratamentos	Medias
1	a	Cf2 94.02857
2	b	Am1 51.35690
3	b	Jr1 48.34209
4	b	Cf1 44.23967
5	b	Jr2 40.84154
6	b	Am2 25.20228

```

-----

```

ANEXO D. Análise de variância Acidez Volátil

```
-----  
Quadro da análise de variancia  
-----  
          GL    SQ    QM    Fc    Pr>Fc  
Tratamento  5 20254 4050.9 5.8263 0.00071127  
Residuo     30 20858  695.3  
Total       35 41113  
-----  
CV = 60.33 %  
-----  
Teste de normalidade dos residuos ( Shapiro-Wilk )  
Valor-p: 0.2968362  
De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.  
-----  
Teste de homogeneidade de variancia  
valor-p: 0.9986696  
De acordo com o teste de bartlett a 5% de significancia, as variancias podem ser consideradas homogeneas.  
-----  
Teste de Scott-Knott  
-----  
  Grupos  Tratamentos  Medias  
1      a      Cf1 73.76098  
2      a      Cf2 68.68736  
3      a      Jr1 54.16739  
4      b      Am1 34.94163  
5      b      Jr2 20.46018  
6      b      Am2 10.21345  
-----
```

ANEXO E. Regressão das análises de compostos fenólicos totais

```

OLS Regression Results
=====
Dep. Variable:      Fator de diluição no tubo de ensaio      R-squared:          0.460
Model:              OLS                                     Adj. R-squared:     0.428
Method:             Least Squares                          F-statistic:        14.46
Date:               Mon, 04 Sep 2023                          Prob (F-statistic): 2.85e-05
Time:               14:16:08                                Log-Likelihood:     -117.43
No. Observations:  37                                       AIC:                240.9
Df Residuals:      34                                       BIC:                245.7
Df Model:           2
Covariance Type:   nonrobust
=====
                    coef    std err          t      P>|t|      [0.025    0.975]
-----
const              47.8302     2.583      18.521     0.000     42.582    53.079
amostra_simples   -3.8254     1.150     -3.325     0.002     -6.163    -1.487
Tempo(meses)      2.1358     0.562      3.801     0.001      0.994     3.278
=====
Omnibus:           1.058    Durbin-Watson:      1.747
Prob(Omnibus):    0.589    Jarque-Bera (JB):   0.875
Skew:             0.058    Prob(JB):           0.646
Kurtosis:         2.256    Cond. No.           11.1
=====

```

Notes: