



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

WILTON AMARAL DOS SANTOS

**USO DE CORPOS POLIEDRICOS DE MADEIRA (CUBOS) NO
PROCESSO DE ARMAZENAMENTO DA CACHAÇA**

UFBA

SALVADOR

2023



WILTON AMARAL DOS SANTOS

**USO DE CORPOS POLIEDRICOS DE MADEIRA (CUBOS) NO
PROCESSO DE ARMAZENAMENTO DA CACHAÇA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAl) da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Prof. Dra. Maria Eugênia de Oliveira Mamede
Orientador

Prof. Dr. Benjamim de Almeida Mendes
Coorientador

SALVADOR

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

TERMO DE APROVAÇÃO

Wilton Amaral dos Santos

USO DE CORPOS POLIÉDRICOS DE MADEIRA (CHIPS) NO PROCESSO DE ARMAZENAMENTO DA CACHAÇA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 07 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA EUGÊNIA DE OLIVEIRA MAMEDE
Data: 10/11/2023 18:37:09-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Maria Eugênia de Oliveira Mamede (ORIENTADORA)
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Documento assinado digitalmente
gov.br WILDER DOUGLAS SANTIAGO
Data: 10/11/2023 08:29:12-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Wilder Douglas Santiago (EXAMINADOR)
Professor Visitante, Universidade Federal de Lavras (UFLA, MG)

Dr. Ernesto Acosta Martínez (EXAMINADOR)
Professor Pleno, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS, BA)

Santos, Wilton Amaral dos.

Uso de corpos poliédricos de madeira (cubos) no processo de armazenamento da cachaça / Wilton Amaral dos Santos. - 2023.

134 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Eugênia de Oliveira Mamede.

Coorientador: Prof. Dr. Benjamim de Almeida Mendes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia, Salvador, 2023.

1. Bebidas alcoólicas. 2. Cachaça - Armazenamento. 3. Cachaça - Conservação. 4. Cachaça - Qualidade. 5. Cachaça - Sabor e aroma. I. Mamede, Maria Eugênia de Oliveira. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia. III. Título.

CDD - 663.5

CDU - 663.5

Dedico este trabalho,

Em especial a minha mãe Aurita e minha Vó Laurença por terem sido minha âncora ao longo desta trajetória. A mim, por não ter desistido. Aos orientadores pelo incentivo e paciência. Aos produtores de cachaça por terem confiado em mim, e as demais pessoas que de certa forma fizeram parte dessa caminhada.

Meus agradecimentos,

Durante esta caminhada pude contar com a ajuda de várias pessoas, que sempre me apoiaram, acolheram, ouviram, investiram tempo e sempre buscaram me ajudar, às vezes perto ou distante, mas que da sua maneira fizeram se presentes para que eu pudesse vencer. Sendo assim, gostaria de agradecer a estes de modo especial:

À Deus agradeço pela vida, por todo ensinamento e força, e por ser luz nesta minha caminhada e por sempre iluminar os meus passos.

À Nossa Senhora Aparecida agradeço pelas bênçãos concedidas, por me guiar, proteger, iluminar e sempre presente no meu caminho e orações.

À mim, por ter tido força de vontade em não ter desistido no primeiro “não”, por ter continuando em busca do sonho maior.

À minha mãe Aurita, que desde sempre buscou me proporcionar o melhor, sempre me abençoa e dá o maior apoio para continuar a caminhada, sempre fez e faz de tudo pelos meus sonhos, este trabalho é fruto do seu esforço, és tão seu quanto de qualquer outra pessoa.

À minha Vó Laureença, meu poço de ternura, simplicidade, afeto, agradeço por todos os ensinamentos, e por me ensinar o verdadeiro significado da palavra amor. Serei sempre o seu “nego”.

A orientadora, Professora Dra. Maria Eugênia, agradeço por ter permitido a realização desta pesquisa, por todo trajeto percorrido, pela paciência e pelos ensinamentos prestados.

Ao meu Coorientador, Professor Dr. Benjamim Mendes, por ter me estendido a mão, devo lhe toda gratidão por ter sido o guia e instrutor desta pesquisa, e por confiar em mim para fazer este trabalho.

A minha irmã Yara, pelo carinho, afeto e mesmo distante sempre se faz presente.

A Renata Saraiva, por segurar minha mão no início, meio e fim desta trajetória, desde a inscrição, matrícula e por sempre acreditar que iria dar certo. Por sempre rirmos das coisas aleatórias da vida, e por sempre ser meu ombro amigo.

Aos meus tios e tias, com suas peculiaridades foram importantes nesta trajetória.

Aos meus primos(as) Elias, Josiane, Manoel Vino, Ana Rita, Camila e demais obrigado pelo apoio, mensagens e disponibilidade em sempre ajudar.

A Juliana Xavier, por nossa amizade de longa data (do terceiro para a vida), companheirismo, esquecimentos e por sempre se fazer presente, e por ter me salvo no final da escrita.

Ao pessoal do Laboratório de Bromatologia, Luciane, Emanuelle, Laísia, Júlia e Marluhy, em especial a Maria de Fátima, Raimunda e Jaqueline, obrigado por terem sido minha família da pesquisa, meu porto seguro e por fazerem dos meus dias no Laboratório os melhores.

Aos meus queridos da Iniciação Científica, Gabriel Bonfim e Jaqueline Santos, agradeço pela dedicação, companheirismo, risos e todo auxílio durante e após o experimento.

Aos colegas e amigos que fiz nesta jornada em especial a Joelaine Santana, Morena Saito, Tami Ramos, Katherine, Luiz Afonso, Joseane, Rebeca e Edna obrigado pelas risadas, momentos, palavras e apoio, levarei cada um comigo.

Ao casal Tauan e Livia, obrigado por estarem desde o início da minha mudança para Salvador, por me apoiarem e por surtarmos juntos nesta caminhada.

A Caio, agradeço por ter sido meu melhor amigo de vida, de apartamento, convivência, por sempre puxar minha orelha, me ouvir e aconselhar nos momentos de loucura e surtos. Pelos vários cafés das tardes na padaria e pelas várias idas a Ribeira e farol da Barra.

Aos servidores da FACFAR Miraildes Calazan, Tamires Pascoal, seu Rosalvo e César pela paciência e disponibilidade em sempre atender aos chamados.

Aos meus amigos de trajetória Barbara, JP, Mih, Allan, Raick, Maria Christina, Cleidiane, Vanessa e Neuza que mesmo de longe sempre buscaram se fazer presentes.

Aos colegas de apartamento “Cúpula 503” Caio, Gil e Dan agradeço por terem sido um pouco família, amigos, por compartilharmos risos, brincadeiras e momentos felizes neste período em Salvador.

Aos amigos da Bahia em especial a Welder por todo apoio e disposição em ajudar (provador nato de cachaça), a Lucas, Aldeir (mineiro do pé rachado) agradeço pelos momentos, risos, festas, gratidão por sempre estarem aqui comigo.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos – Pgalí, aos docentes e servidores pelo apoio e dedicação.

À Coordenação Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida (nº do processo: 88887.631438/2021-00);

A Cachaçaria Santíssima na pessoa do senhor José Otávio e Romana por terem acreditado e colaborado com este trabalho

A Tanoaria Dornas Havanás na pessoa do Sr. Edson, por ter sido um grande apoiador e incentivador desta pesquisa, e aos funcionários que sempre foram prestativos.

Ao Alambiques Santa Efigênia, na pessoa de Lenizio pela doação do tempo, espaço e todos os recipientes em inox construídos e montados para atender as nossas necessidades. Em especial a Deiziane e Vitor.

Ao Laboratório de Análise de Qualidade de Aguardentes, em especial a Professora Dra. Maria das Graças, e a técnica Dra. Maria Luiza por terem realizado as análises cromatográficas.

Ao Professor Dr. Jeancarlo pela paciência e auxílio nas análises de compostos fenólicos por HPLC.

Ao Leonardo Maciel, pela disponibilidade e ensinamentos.

A Karla Cristina pelo apoio em análises, disposição e conselhos e compartilhamentos da Pós.

A Gabriela Casagrande pela disponibilidade em auxiliar nas análises macroscópicas.

Ao Laboratório de estudos em Petróleo, em especial a Sarah por auxiliar nas análises de contaminantes.

Aos produtores de cachaça que disponibilizaram em contribuir para que esta pesquisa pudesse ser realizada, gostaria de forma especial agradecer:

Ao Nilton da Cachaça Mirahy;

Ao Hermes Bezerra da cachaça Kirikó;

Ao Raimundo da cachaça limoeiro;

Ao Marco Vaccaro da cachaça Serra das Almas;

Ao José Santana da Cachaça Guaraciaba;

Ao Orlando Regis da Cachaça Regui Brasil;

A cachaçaria Seleta, na pessoa de Renata;

Ao Edivaldo e Edileuza da cachaça Paramirim;

Ao Rildo Castro pela disponibilidade e auxílio;

Ao Roger Gusman Cachaça Jeceaba e Presidente da Anpaq (Associação dos Produtores de aguardente de Qualidade);

Ao Carlos Eduardo (Presidente da Associação dos Produtores de Cachaça Cerrado Mineiro);

Ao Valdir Saraiva, cachaça Poço da Peda;

Ao Adão e Céllia da cachaça Princesa Isabel, pela disponibilidade e comprometimento com a pesquisa;

As demais pessoas que sempre me ofereceram uma palavra de conforto, uma mensagem ou até mesmo um minuto para conversar sobre a vida, a pós e os caminhos percorridos.

AGRADEÇO!!

*"Você está preocupado demais com o que passou e com o que será.
Há um ditado que diz: O ontem é história, o amanhã é mistério.
Mas o hoje é uma dádiva, e, por isso, é chamado de PRESENTE".*

Autor desconhecido – Citação feita em Kung Fu Panda

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar e avaliar a importância da superfície específica (SE) na interação bebida-madeira como parâmetro determinante do tempo de armazenamento da cachaça, e caracterizar este processo. A SE foi utilizada como parâmetro para cálculo das medidas área/volume dos recipientes de madeira e inox, bem como dos poliedros (cubos) de madeira, e determinar o tempo de armazenamento. Foi utilizada a madeira jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) para confecção dos tonéis com capacidade de 7 litros em formato tronco cônico e os poliedros (cubos) de madeira. Foi desenvolvido 4 tonéis de inox para simulação do “armazenamento acelerado”. Foi construído um planejamento “skale down” a partir de medidas de um recipiente de madeira com capacidade de 700 litros. Utilizou-se um compressor de ar, para a aeração. Foram realizados cinco tratamentos sendo: A – tratamento testemunha: cachaça branca em tonel de inox; B – tratamento testemunha com aeração: cachaça branca em tonéis de inox com aeração; C – maturação em tonéis de jaqueira de 7 litros: envelhecimento convencional; D - ‘envelhecimento acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com poliedros de madeira de jaqueira; E – ‘envelhecimento acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com poliedros de madeira de jaqueira, com aeração. O experimento ocorreu em 79 dias. A aeração foi realizada pela manhã e noite durante com uma vazão de 3 L/minuto, equivalente a 0,429 vvm (volume de ar por volume de meio por minuto), injetou-se 19,506 g de ar/dia. Foram coletadas semanalmente as massas dos tonéis para acompanhamento do processo de armazenamento, e a partir do 21º dia foram coletadas as amostras para análises físico-químicas. A madeira jaqueira contribuiu para modificação do perfil químico do destilado em se tratando da transferência de compostos presentes na madeira para a bebida, houve aumento da concentração de extrato seco e fenólicos totais. Conforme a análise anatômica a madeira jaqueira apresentou características fibrosas e espessas. Para a toxicidade a cachaça armazenada em jaqueira apresentou letalidade para o microorganismo *Artemia Sallina*. Observou-se que a SE poderá ser uma ferramenta a ser utilizada no processo de construção de recipientes para o envelhecimento de cachaça, haja visto que comparado ao armazenamento tradicional, as qualidades da bebida em contato com os poliedros de madeira foram iguais ou superiores. Através da análise sensorial, constatou-se uma aceitação da cachaça armazenada inox com poliedros de madeira, sob aeração, seguida da cachaça armazenada inox com poliedros, sem aeração. Pelo teste de preferência as amostras armazenadas em inox com poliedros sem e sob aeração foram as mais preferidas. Outros estudos deverão ser realizados com novas madeiras, tamanhos diferentes e tempos distintos, além de estudos sobre as características da madeira a ser utilizada nesta etapa, bem como aplicação de testes sensoriais descritivos.

Palavras-chave: Inovação. Controle de Qualidade. Superfície específica.

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate and assess the importance of specific surface area (SSA) in the drink-wood interaction as a determinant parameter for the aging time of cachaça, characterizing this process. SSA was used to calculate the area/volume measurements of wooden and stainless steel containers, as well as wooden polyhedra (cubes), to determine the storage time. Jackfruit wood (*Artocarpus heterophyllus*) was used to make 7-liter conical trunk-shaped barrels and wooden polyhedra. Four stainless steel barrels were developed for simulating "accelerated aging." A "scale-down" design was constructed based on measurements from a 700-liter wooden container. An air compressor was used for aeration. Five treatments were conducted: A – control treatment: white cachaça in stainless steel barrel; B – aerated control treatment: white cachaça in stainless steel barrels with aeration; C – maturation in 7-liter jackfruit wood barrels: conventional aging; D - 'accelerated aging': white cachaça in stainless steel barrels with jackfruit wood polyhedra; E – 'accelerated aging': white cachaça in stainless steel barrels with jackfruit wood polyhedra, with aeration. The experiment lasted 79 days. Aeration was performed in the morning and evening at a flow rate of 3 L/minute, equivalent to 0.429 vvm (volume of air per volume of medium per minute), injecting 19.506 g of air/day. Barrel masses were collected weekly to monitor the storage process, and from the 21st day, samples were collected for physicochemical analyses. Jackfruit wood contributed to the modification of the distillate's chemical profile concerning the transfer of compounds from wood to the beverage, increasing the concentration of dry extract and total phenolics. An anatomical analysis showed that jackfruit wood presented fibrous and thick characteristics. For toxicity, cachaça stored in jackfruit wood exhibited lethality to the *Artemia Sallina* microorganism. It was observed that SSA could be a tool used in the construction of containers for cachaça aging. Compared to traditional storage, the qualities of the beverage in contact with wooden polyhedra were equal or superior. Through sensory analysis, an acceptance of cachaça stored in stainless steel with wooden polyhedra, under aeration, was noted, followed by cachaça stored in stainless steel with polyhedra, without aeration. In the preference test, samples stored in stainless steel with polyhedra, with and without aeration, were the most preferred. Further studies should be conducted with new woods, different sizes, and distinct times, as well as studies on the characteristics of the wood used in this stage, along with the application of descriptive sensory tests

Keywords: *Innovation. Quality control. Specific surface.*

SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO I – O uso de corpos poliedricos de madeira (cubos) no processo de armazenamento da cachaça</i>	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Histórico da cachaça	17
3.2 Padrões de Identidade e Qualidade da Cachaça (PIQ's)	19
3.3 Envelhecimento da cachaça	20
3.4 Lascas de madeira em bebidas	22
3.5 Modulagem do processo de armazenamento	23
3.6 Madeiras brasileiras para envelhecimento da cachaça	24
3.7 Superfície específica	25
3.8 Jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Seleção da espécie de madeira	28
4.2 Delineamento	28
4.3 Elaboração dos tonéis de madeira	29
4.4 Tratamentos	30
4.5 Elaboração dos cubos de madeira	32
4.6 Elaboração dos tonéis de inox	34
4.7 Sistema de aeração dos tonéis	36
4.8 Características da aguardente de cana utilizada no experimento	37
4.9 Protocolos de acompanhamento e controle do experimento	37
4.10 Coleta de amostras	38
4.11 Análises da madeira	38
4.11.1 Obtenção do extrato	39
4.11.2 Extrato seco	39
4.11.3 Análise macroscópica da madeira	40
4.11.4 Determinação da cor	40
4.12 Análise de dados	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 Análise da madeira	41
5.1.1 Fenólicos totais e extrato seco	41
5.1.2 Cor	42

5.1.3	Características anatômicas	43
5.2	Massa de encharcamento da madeira	45
5.3	Volume final da cachaça	46
5.4	Extrato seco.....	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS.....	52
	<i>CAPÍTULO II</i> – Impacto do uso de poliedros e tonel de madeira da espécie jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i>) no armazenamento de cachaça.....	59
	<i>CAPÍTULO III</i> – Avaliação físico-química e sensorial da cachaça obtida do armazenamento em poliedros (cubos) e tonel de madeira jaqueira (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	95
	APÊNDICE A - Modelo de Termo de consentimento Livre e Esclarecido – TCLE	116
	APÊNDICE B - Modelo de ficha utilizado no teste de aceitação	118
	APÊNDICE C - Modelo de ficha utilizado no teste de ordenação	119
	ANEXO I - Quadros com as medidas de tonéis tronco cônicos	120
	ANEXO II - Tabelas referentes as massas dos tonéis	123
	ANEXO III - Desenho do tonel de inox	124
	ANEXO IV - Massas dos cubos por tratamentos	125

Capítulo I

O uso de corpos poliédricos de madeira no processo de armazenamento da cachaça

1 INTRODUÇÃO

De acordo o Instituto Brasileiro da Cachaça (IBRAC), estima-se que o Brasil possua capacidade instalada de produção de 1,2 bilhão de litros por ano, mas produz 800 milhões de litros de cachaça anualmente. Em 2022, a cachaça foi exportada para 76 países, gerando uma receita de US\$ 20, 80 milhões, equivalente a 9,31 milhões de litros. Um aumento de 52,38% em valor e 29,03% em volume em relação ao ano de 2021 (IBRAC, 2023).

Cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38% a 48% (v/v) a 20 °C, obtida pela destilação do mosto fermentado de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares. Segundo a legislação aguardente de cana é a bebida com graduação alcoólica de 38% a 54% (v/v) a 20 °C, obtida do destilado alcoólico simples de cana-de-açúcar ou pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares (Brasil, 2022).

Fenomenologicamente o envelhecimento da cachaça envolve processos de transferência de matéria (ou de massa, *mass transfer*) nas suas componentes: difusão mássica e aveção mássica; quimicamente esta etapa da maturação envolve reações de oxidação de aldeídos e de outros compostos químicos, presentes na cachaça (líquido extrator ou solvente) e nos extrativos da madeira (soluto). Essas reações agregam aroma, cor e sabor à bebida (Almeida; Mendes, 2022; Castro *et al.*, 2020).

Nas definições legais de envelhecimento e de cachaça envelhecida, constam apenas as declarações de que o adequado recipiente de madeira deve ter um volume de 700 L e que o período de envelhecimento não pode ser inferior a um ano. Nenhuma outra especificação de tamanho, forma e superfície específica dos recipientes e dos tempos de envelhecimento diferentes e menores que 365 dias (um ano) são apresentados no Decreto n° 6871 e Portaria MAPA n°539.

De acordo com a Portaria n° 539 do MAPA, cachaça envelhecida é a bebida que contém cinquenta por cento de aguardente envelhecida por um período não inferior a um ano em recipiente de madeira com capacidade de 700 litros (Brasil, 2022). A aguardente de cana ou cachaça armazenada é a bebida que for armazenada em recipiente de madeira e que não se enquadra nos critérios estabelecidos para o envelhecimento definido no presente Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ's). O uso de lascas de madeira é permitido como uma etapa de maturação da bebida e deverá constar no rótulo “acondicionada em” seguida do tipo de madeira e se a mesma foi submetida a algum tipo de tratamento, exemplo, a tostagem (Brasil, 2022).

A introdução do conceito de **superfície específica**, entendido como sendo a relação entre a superfície (área) interna (molhada) e o volume interno (molhado) do recipiente é importante e necessária uma vez que torna a definição de ‘recipiente de madeira’ independente de seu tamanho e geometria (forma), uma vez que ambos ficam contidos no conceito de superfície específica, permitindo assim que se estabeleça uma relação proporcional inversa matemática e fenomenologicamente comprováveis entre superfície específica e tempo de armazenamento. Essa relação, necessária e indispensável na legislação e no entanto ausente, permite o estabelecimento de tempos de envelhecimento diferentes de um ano, quando se considera a extração sólido-líquido em recipientes de volume inferior a 700 litros, com superfície específica maior do que as de recipientes de 700 litros (Almeida; Mendes, 2022). A superfície específica do tonel pode ser expressa em $\text{dm}^2 / \text{dm}^3$, dm^{-1} ou dm^2 / L .

$$SE = \text{Área} / \text{Volume}$$

SE - Superfície específica

Para ilustrar as asserções acima apresentamos em (anexo I) um quadro contendo 11 recipientes de madeira com diferentes dimensões, de geometria tronco cônica/ou cilíndrica com volume igual a 700 litros e diferentes superfícies específicas. Fica demonstrado assim que a simples definição de um volume de recipiente para envelhecimento não é condição suficiente para estabelecimento de um tempo mínimo de 365 dias para o envelhecimento, pois existe um número infinito de tonéis de 700 litros com diferentes superfícies específicas, implicando, dessa forma, em tempos de envelhecimento diferentes de 365 dias (Almeida; Mendes, 2022).

Para o recipiente de referência (padrão) a grandeza física a ser adotada deveria ser a superfície específica, no valor de $0,62347 \text{ dm}^{-1}$ e não o volume de 700 litros. No presente trabalho toda a teorização foi desenvolvida com base nesse valor de superfície específica.

A relação entre superfície específica e tempo de envelhecimento é dada pela seguinte fórmula matemática:

$$TE = 365 * (SER / SEP) = 365 * (SER / 0,62347)$$

TE = Tempo de envelhecimento

SER = Superfície específica referencia

SEP = Superfície específica padrão

Fonte: Mendes, (2023).

Para se estabelecer uma conexão entre envelhecimento clássico e o denominado ‘envelhecimento acelerado’ é necessário que se conheça a superfície molhada do recipiente de

madeira, de superfície específica conhecida, e a superfície molhada de fragmentos poliédricos (cubos) que devem possuir a mesma superfície molhada dos recipientes de madeira utilizados no envelhecimento clássico (Almeida; Mendes, 2022).

Por exemplo, no recipiente de volume sete litros a superfície específica é $2,8939 \text{ dm}^{-1}$, 4,6414 vezes maior que a superfície específica de referência ($0,62347 \text{ dm}^{-1}$). Neste caso, o tempo de envelhecimento neste recipiente, no que diz respeito à extração sólido-líquido, deverá ser 4,6414 vezes menor que o tempo de envelhecimento de referência (365 dias), assim:

$$TE = (SEP/SET) \times 365$$

$$T. E = (0,62347/2,8939) \times 365 = 0,215442828 \times 365 = 78,64 \text{ dias}$$

SEP= Superfície específica padrão

SET= Superfície específica do recipiente

TE= Tempo de extração

Se, ao invés de um recipiente de sete litros, utilizar-se cubos provenientes da mesma madeira utilizada na confecção das aduelas do recipiente, ter-se-á necessidade de uma quantidade de cubos tal que a soma de suas áreas superficiais seja igual a $20,25714 \text{ dm}^2$. Nesse caso, 37 cubos com área total de $19,98 \text{ dm}^2$ e arestas de 3 cm cada, e 1 cubo com área total de $0,27714 \text{ dm}^2$, com aresta de 2,15 cm. Nessa situação, o tempo de ‘envelhecimento acelerado’, com a utilização de cubos de madeira, seria de 78,64 dias (Mendes, 2023).

Os poliedros são definidos como sendo: Uma reunião de um número de regiões poligonais planas chamadas faces e a região do espaço limitado por elas. Cada lado de uma dessas regiões poligonais é também lado de uma outra única região poligonal. A interseção de duas faces quaisquer ou é um lado comum, ou é um vértice, ou é vazia. Cada lado de uma região poligonal comum a exatamente duas faces é chamado aresta do poliedro. E cada vértice de uma face é um vértice do poliedro (Dante, 2012).

De acordo com (Lehtonen, 1983 apud Martins, 2011) para a condução do processo de envelhecimento são recomendados barris de madeira com capacidade variando entre 200 e 700 litros. Em recipientes maiores que esses podem comprometer o processo de envelhecimento, pela limitação do contato da madeira com a bebida, em função da pequena superfície específica desses recipientes. Em relação à superfície específica, o uso de barris pequenos (portanto, com maior superfície específica), a área é maior, contudo a extração dos compostos da madeira é mais rápida (Martini *et al.*, 2020).

No envelhecimento convencional em tonel de madeira as características da bebida são influenciadas por vários fatores como o tipo e origem da madeira e intensidade de tosta da

madeira (Bortoletto *et al.*, 2013; Castro *et al.*, 2020; Garcia-Moreno *et al.*, 2020), e principalmente o tamanho do barril, e o volume de enchimento da bebida (Canas, 2017).

No processo de produção de vinhos a legislação permitiu o uso de lascas de madeira da espécie carvalho no envelhecimento sendo torradas ou não torradas (Stegarus *et al.*, 2021). O uso de lascas como método de maturação no vinho pode aumentar a complexidade do perfil de voláteis em relação ao uso de tonéis (Cãlugã *et al.*, 2020). Neste sentido, toda a superfície de contato madeira é utilizada e não apenas a metade (Arapitsas *et al.*, 2004).

O objetivo deste trabalho é realizar, descrever e quantificar, utilizando parâmetros físicos, químicos e sensoriais, o processo de envelhecimento de cachaça com a utilização de poliedros (cubos) de madeira da espécie jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*), em toneis de aço inox, com e sem aeração, comparando-o com o realizado em toneis da mesma madeira, com mesma superfície específica e mesmo tempo de armazenamento em ambos os processos. Também objetivou-se avaliar a adição de poliedros (cubos) de madeira no processo de armazenamento da cachaça bem como analisar a interação bebida e madeira através da superfície específica de contato, a fim de modular o tempo de envelhecimento, e ainda assim resultar em uma bebida com Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ's) dentro do estabelecido e com qualidade superior ou similar a bebida envelhecida convencionalmente, caracterizando os diferentes tratamentos propostos, em termos químicos, físicos e sensoriais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar, descrever e quantificar, utilizando parâmetros físicos, químicos e sensoriais, o processo de armazenamento de cachaça usando poliedros (cubos) de madeira da espécie jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*).

2.2 Objetivos específicos

- Fundamentar, calcular e propor geometria, dimensões, superfícies específicas (área/volume e área/massa), características e cuidados a serem adotados na fabricação dos tonéis de madeira e de aço inox, e dos cubos que serão utilizados nos experimentos;
- Propor, descrever e mensurar as rotinas e as condições de contorno existentes durante a realização dos experimentos;
- Quantificar a variação do grau alcoólico e outros parâmetros físico-químicos da cachaça;
- Quantificar o grau percentual de ‘encharcamento’ das madeiras dos tonéis e dos poliedros;
- Utilizar as concentrações de extrato seco e de compostos fenólicos como indicadores/marcadores da efetividade das extrações e, conseqüentemente, do armazenamento da cachaça devido a relação com os extrativos da madeira;
- Mensurar o percentual de extratos solúveis extraídos durante o armazenamento, em relação ao teor de extratos solúveis totais existentes na madeira dos toneis e dos poliedros;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HISTÓRICO DA CACHAÇA

São muitos os relatos a respeito do surgimento da cachaça, alguns autores correlacionam a história da bebida com a própria história do Brasil. O primeiro engenho no Brasil foi originado em Pernambuco, no ano de 1516, porém só com a vinda de Martim Afonso de Sousa, em 1532, que a base econômica da primeira grande fase da colonização portuguesa ficou definida. Branquinha, caninha e pinga são alguns nomes para denominar a bebida típica brasileira. Uma das versões para a origem da palavra cachaça é um brasileirismo nascido do vocábulo espanhol “cachaza” que, muito antes do descobrimento, nomeada, na metrópole, uma bagaceira de qualidade inferior (Abrabe, 2014).

A cachaça, ou aguardente de cana, é a bebida destilada mais consumida no Brasil e a terceira no mundo, estando atrás apenas da vodka na Rússia e do soju coreano. Segundo o anuário da cachaça de 2021, elaborado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) 951 novos produtores foram registrados ao MAPA (IBRAC, 2023). Os maiores estados produtores da bebida são São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco e Minas Gerais.

A aguardente de cana possui uma graduação alcoólica de 38 a 54% em volume, a 20 °C, sendo obtida de destilado alcoólico simples de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) ou pela destilação do mosto fermentado de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares em até 6 g.L⁻¹. A aguardente de cana pode conter até 30 g/L⁻¹ de açúcares, devendo, porém, ter sua denominação acrescida da palavra “adoçada” (Brasil, 2022).

Buscando agregar visibilidade ao destilado, atender as exigências do mercado externo e aumentar a procura pelo destilado o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), sancionou a instrução normativa nº 13, de 29 de junho de 2005 a fim de fixar a identidade e as características de qualidade que devem obedecer à aguardente de cana e a cachaça no Brasil (Cardoso, 2014).

A partir de então, a cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38% (v/v) a 48% (v/v), a 20°C, obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até 6 g/L, expressos em sacarose (Brasil, 2005). Com a revogação da Instrução normativa nº 13 de 2005, a nova Portaria nº 539 do MAPA para a cachaça entrou em vigor, onde foi fixado os padrões de qualidade da aguardente e cachaça.

Segundo a Portaria nº 539 do MAPA, há três classificações para a cachaça ou aguardente de cana maturada. Aguardente de cana ou cachaça envelhecida: a bebida que contiver, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de seu volume envelhecido em recipiente de madeira, com capacidade máxima de 700 (setecentos) litros, por um período não inferior a 1 (um) ano. Aguardente de cana ou cachaça armazenada: a bebida que for armazenada em recipiente de madeira e que não se enquadra nos critérios definidos para o envelhecimento previstos no presente Padrão de Identidade e Qualidade e outros atos administrativos próprios. Aguardente de cana ou cachaça: a bebida acondicionada em recipiente de material adequado e que não se enquadra nos critérios definidos para o envelhecimento e armazenamento em madeira previstos no presente Padrão de Identidade e Qualidade e outros atos administrativos próprios (Brasil, 2022).

3.2 PADRÕES DE IDENTIDADE E QUALIDADE DA CACHAÇA (PIQ's)

A cachaça é amplamente consumida pelos brasileiros e por vários outros países, devido a isso, a importância de se buscar produzir e levar ao consumidor um produto de melhor qualidade. Inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de aprimorar tanto a matéria – prima, as variedades de cana-de-açúcar, e principalmente os cuidados durante o processo de produção da bebida e controle de compostos contaminantes (Cardoso, 2013).

Os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQs) e seus respectivos limites são estabelecidos pela legislação, com a finalidade de padronizar a cachaça e proteger a saúde do consumidor. A padronização é essencial para que a bebida atenda os padrões internacionais de qualidade e seja aceita pelo mercado externo, proporcionando condições de abertura e manutenção na exportação, além de proporcionar aceitação, no comércio interno, pelas classes de maior poder aquisitivo, que exigem bebidas com controle de qualidade maior (Souza *et al.*, 2013).

De acordo com a nova Portaria nº 539 de 2022, os contaminantes arsênio e chumbo não fazem parte dos PIQ's. Um dos pontos de suma importância para o setor foi a permissão do uso de fragmentos de madeira no processo de armazenamento da cachaça, para isso a bebida deverá trazer no rótulo a especificação “armazenada em” além de informar o tipo de tratamento que a madeira passou (Brasil, 2022). A Portaria estabelece os Padrões de Identidade e Qualidade (Tabela 1) e os limites para os compostos secundários e contaminantes em aguardente de cana e cachaça, conforme Tabela 2.

Tabela 1- Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ's) exigida pela legislação brasileira.

COMPONENTE	UNIDADE	LIMITE	
		Mínimo	Máximo
Graduação alcoólica	% em v/v, a 20 °C	38,0	48,0
Acidez volátil, em ácido acético	mg/100 mL de álcool anidro	-	150,0
Ésteres, em acetato de Etila	mg/100 mL de álcool anidro	-	200,0
Aldeídos totais, em acetaldeído	mg/100 mL de álcool anidro	-	30,0
Furfural e Hidróximetilfurfural	mg/100 mL de álcool anidro	-	5,0
Soma dos álcoois isobutilico (2-metil-propanol), isoamilicos (2-metil-1-butanol e 3- metil-1-butanol) e n-propilico (1-propanol)	mg/100 mL de álcool anidro	-	360,0
Coefficiente de Congêneres**	mg/100 mL de álcool anidro	200,0	650,0
Compostos fenólicos totais (cachaça envelhecidas)	-	Presente	
Açúcares totais (para cachaça)	g/L em glicose	-	≤ 6,0
Açúcares totais (para cachaça adoçada)	g/L em glicose	>6,0	<3,0

**Congêneres = (Acidez volátil + Ésteres + Aldeídos + Furfural + Álcoois superiores)

Fonte: Brasil, 2022.

A aguardente de cana e a cachaça deverão obedecer aos limites dos contaminantes orgânicos e inorgânicos a seguir:

Tabela 2 – Parâmetros dos limites de contaminantes em aguardentes e cachaça.

Parâmetros	Unidade	Máximo
Álcool metílico (metanol)	mg/100 mL de álcool anidro	20
Carbamato de etila	µg/L	210
Acroleína (2 – propenal)	mg/ 100 mL de álcool anidro	5
Álcool sec-butilico (2-butanol)	mg/ 100 mL de álcool anidro	10
Álcool n – butílico (1-butanol)	mg/ 100 mL de álcool anidro	3
Cobre	mg/L	5

Fonte: Brasil, 2022.

3.3 ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA

Após a etapa de destilação a cachaça pode ser engarrafada ou passar pelo processo de envelhecimento em tonéis de madeira (SAKAI, 2023). Esta etapa proporciona melhor qualidade ao destilado, principalmente na melhoria do perfil sensorial. O processo de envelhecimento é caracterizado como uma reação que ocorre devido a extração dos compostos da madeira e degradação da celulose, hemicelulose e lignina através do álcool e água (Carvalho *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2020; Bortoletto, 2016)

A aguardente é bastante apreciada por possuir aroma e sabor característicos, muitas vezes modificados através de sua estocagem em recipientes de madeira, que transferem compostos existentes em sua estrutura à bebida, melhorando sua qualidade sensorial. Essa modificação depende do tempo de armazenamento e das condições de estocagem, sendo estas determinadas pelas características do tonel e pelas condições ambientais do local (Cardello; Faria, 1998).

O envelhecimento de bebidas alcoólicas em contato com a madeira é uma prática importante para garantir a alta qualidade do produto acabado (Smailagić *et al.*, 2021). O envelhecimento é uma etapa onerosa, que demanda muito tempo para se chegar em um produto final de qualidade. Ao longo da etapa de maturação ocorrem trocas entre a bebida e madeira e, uma série de modificações químicas, como a degradação da lignina e formação de compostos fenólicos, ácidos fenólicos, dentre outras reações entre o destilado e os compostos da madeira ou vice-versa vão ocorrendo com o decorrer do tempo (Coldea *et al.*, 2020).

Torna-se uma etapa fundamental para melhoria da qualidade da cachaça sendo, atualmente, muito utilizada por produtores que buscam mais qualidade no produto. É uma técnica que busca agregar valor ao destilado, além de conferir melhorias sensoriais. O hábito de envelhecer cachaça está se tornando uma prática comum entre os produtores que buscam agregar valores ao seu produto, tornando-o mais competitivo no mercado (Anjos *et al.*, 2011).

O tempo e o recipiente de armazenamento utilizados são fatores que interferem nos diversos componentes presentes na aguardente produzidas a partir da cana de açúcar. O processo de envelhecimento também altera a composição química e a qualidade da aguardente da cana de açúcar (Parazzi *et al.*, 2008).

Os recipientes utilizados para o envelhecimento são os barris e tonéis de madeira, que atuam como uma membrana semipermeável, permitindo a passagem de vapores de álcool e água, que ocorre dependendo das condições de umidade relativa e da temperatura do local de envelhecimento (Anjos *et al.*, 2011; Santiago *et al.*, 2012).

A maturação em barris além de promover alterações de cor, sabor, aroma e teor alcoólico, são comuns perdas de álcool em torno de 3 a 4% ao ano, seja pela qualidade dos tonéis utilizados, ou pela idade das madeiras em uso e por altas temperaturas, que influencia neste processo. Observa-se, durante o processo de envelhecimento, um aumento no teor de extrato seco, devido à extração dos compostos não voláteis da madeira. A acidez volátil e a concentração de aldeídos também são acrescidas devido à oxidação do acetaldeído e do etanol. Outra reação que pode ocorrer é a esterificação dos álcoois e ácidos, produzindo ésteres e levando as bebidas envelhecidas a apresentarem maiores concentrações dessas substâncias (Miranda; Horii; Alcarde, 2006).

3.4 LASCAS DE MADEIRA EM BEBIDAS

O uso de lascas de carvalho são, normalmente, aplicadas durante o processo de fermentação alcoólica ou depois, na etapa de envelhecimento. A adição em vinhos proporciona a obtenção de uma bebida de maior complexidade, estrutura, sabor de carvalho, etc. (Gomez Garcia-Carpintero *et al.*, 2012; Del Barrio-Galán *et al.*, 2015). Entretanto, deve ser levado em consideração que, embora os compostos fenólicos e aromáticos presentes na madeira sejam liberados durante o contato vinho-madeira, não é o mesmo o processo oxidativo que ocorre no barril, não tem a mesma característica quando realizada em tanques. Por este motivo, o uso de alternativas de madeira é muitas vezes combinado com a microoxigenação (Oberholster *et al.*, 2015).

No processo de produção do vinho, a adição de aparas de carvalho tem sido investigada, por conter grande variabilidade nos resultados. Essas diferenças podem estar relacionadas com os fatores que afetam o carvalho como a origem, a espécie da madeira, o grau de tostagem ou o método de tempero aplicado para secar os *chips*. De acordo com Schumacher *et al.*, (2013), é preciso avaliar e verificar como esses fatores podem afetar a composição química dos vinhos e suas propriedades sensoriais após o envelhecimento. Segundo Frangipane *et al.*, (2007), consideraram que os vinhos envelhecidos em chips de carvalho produzem vinhos mais uniformes e padronizados, e os fatores mencionados são menos perceptíveis.

Em estudo liderado por Tao *et al.* (2014), é relatado que lascas de carvalho obtidas de barris são uma fonte natural de compostos fenólicos como os ácidos benzóico, cinâmico e elagitaninos, considerando que esses compostos modificam a composição do vinho e suas propriedades organolépticas. Todas estas “novas” alternativas visam a melhoria das características do vinho, sejam químicas ou sensoriais. Sua adição confere resultados semelhantes aos do vinho envelhecido em barris no que diz respeito às propriedades químicas

e sensoriais (Del Alamo-Sanza; Nevares-Domínguez, 2006; Frangipane *et al.*, 2007). Em estudo realizado por Ortega-Heras *et al.*, (2010), chegaram à conclusão que um vinho em contato com asparas de carvalho não terá o mesmo perfil sensorial de um vinho envelhecido em barricas de carvalho por muito tempo. O estudo também identificou que as lascas de carvalho dão notas amadeiradas semelhantes aos vinhos envelhecidos em barricas por um curto período de tempo. No processo de maturação de uísque o uso de lascas juntamente com o aquecimento culminou em uma maior extração dos polifenóis, como taninos. Mudanças no perfil sensorial, como ausência da adstringência e diminuição da coloração da bebida (Martini *et al.*, 2020).

Em estudo com fragmentos de madeira carvalho no processo de armazenamento da cachaça Maia *et al.* (2023), observou que alguns compostos típicos do carvalho após 8 meses migraram para a cachaça, nas mesmas proporções encontradas em cachaças envelhecidas em barris da mesma madeira. Entretanto, nos testes sensoriais a cachaça foi considerada desprovida de corpo e complexidade sensorial. Os autores sugerem técnicas que possam ser utilizadas, com a finalidade de implementar o uso dos fragmentos na cachaça, dentre elas, o uso dos chips de madeira em barris exauridos e/ou toneis de madeira tradicionais, tornando-os como coadjuvantes do processo e sem necessidade de destaque para essa prática na rotulagem. Viabilizaria o tempo de uso dos tonéis, sendo necessário apenas o aumento de chips no meio.

3.5 MODULAGEM DO PROCESSO DE ARMAZENAMENTO

Com o passar do tempo o barril reduz o potencial de extração dos compostos da madeira e não agrega mais qualidade à bebida, tornando as reações químicas mais lentas, reduzindo a geração dos congêneres marcadores de envelhecimento, tornando a função do barril desequilibrada quanto ao aporte de congêneres ao destilado e a oxidação de voláteis permitida pela porosidade da madeira. Entretanto, não há estudos que relatam o tempo ideal de vida útil dos barris, pois diversos fatores são envolvidos na determinação da qualidade do barril e do destilado, dentre eles, o tempo de uso, tratamento realizado na madeira, qualidade da madeira e etc. (Corniani, 2017).

A utilização de lascas de carvalho, ou simplesmente "chips", juntamente com a aeração da bebida, representa uma possível solução acessível para a obtenção de uma bebida com qualidade comparável à envelhecida em barris. Porém, o emprego dessa técnica deve ser estudado para que a aplicação seja embasada por resultados comprobatórios e não seja considerada fraude ou engano ao consumidor (Bortoletto, 2016).

Souza *et al.* (2013), avaliaram o emprego de extrato de madeira amburana (*Amburana cearensis*), como acelerador do processo de envelhecimento contribuiu para aceitabilidade do produto. Foi realizada tosta suave em pequenos pedaços de madeira e em seguida triturados em moinho de facas e obtido um pó fino, em seguida os autores adicionaram cachaça ao extrato (pó). De acordo sua recomendação, 40 mL de extrato por litro é o suficiente para o produto, pois não houve rejeição quanto à aplicação do teste.

O estudo de novas tecnologias para o processo de maturação da cachaça é importante. Em estudos utilizando lascas de carvalho americano em interação com a cachaça (Bortoletto, 2013), avaliou o impacto da adição de lascas de carvalho no armazenamento da cachaça, observou-se que as madeiras contribuíram para a agregação dos congêneres de maturação que influenciam no sabor e aroma do destilado.

Devido à dificuldade de aquisição de madeiras de lei nacional no mercado e ao alto custo de importação de carvalho, considera-se relevante encontrar uma espécie arbórea capaz de suprir o comércio com madeira adequada para o armazenamento de destilados (Viégas, 2015).

Levando em consideração a tradição e a importância econômica desta bebida, a cadeia produtiva da aguardente no país não é tecnologicamente homogênea, existindo uma busca no desenvolvimento de tecnologias para aperfeiçoamento e controle de qualidade e a padronização da bebida. O aprimoramento da qualidade e da padronização da aguardente e da cachaça é de suma importância para que a bebida atenda aos padrões internacionais de qualidade e seja aceita pelo mercado externo, possibilitando condições de abertura e manutenção do mercado de exportação. Além disso, favoreceria aceitação no mercado interno pela classe de maior poder aquisitivo, as quais exigem uma bebida de boa qualidade (Miranda *et al.*, 2007).

3.6 MADEIRAS BRASILEIRAS PARA ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA

O Brasil é um país rico com vasta flora, a utilização de espécies brasileiras pode ser uma alternativa viável para os produtores, entretanto é necessário o estudo químico da aguardente armazenada em toneis de espécies nativas (Alcarde, 2017). De acordo com Silva, (2008) a cachaça é um destilado brasileiro, e por isso deve ser caracterizada por propriedades sensoriais de maior autenticidade, portanto, é de fundamental importância que os produtores começassem a utilizar madeiras nacionais, cujas características exóticas a diferenciariam de outros destilado estrangeiros.

No Brasil, algumas madeiras são mais utilizadas no envelhecimento de aguardente como: amendoim (*Pterogyne nitens Tul*), jequitibá (*Cariniana estrellensis*), araruva

(*Centrolobium tomentosum*), cabreúva ou bálsamo (*Mycrocarpus frondosus*), jequitibá rosa (*Cariniana legalis*), cerejeira ou amburana (*Amburana cearensis*), pereira (*Platygyamus regnelli*), grápia (*Apuleia leiocarpa*), ipê-roxo (*Tabebuia heptaphylla*), castanheira (*Bertholletia excelsa*), freijó (*Cordia goeldiana*), canela sassafrás (*Ocotea odorifera*), eucalipto (*Eucalyptus*), louro-canela (*Ocotea Diospyrifolia*), entre outras (Bortoletto, 2021)

O uso de madeiras brasileiras tende a ser uma alternativa viável, com variações sensoriais para o destilado. Além da possibilidade e complexidade na elaboração de misturas ou “*blends*” de duas ou mais espécies. A mistura de diferentes madeira dão a originalidade à bebida com atributos e sabores únicos e reconhecíveis. Entretanto, a cachaça é o único destilado que pode ser utilizado qualquer tipo de madeira na etapa de envelhecimento, ou seja, uma gama de madeiras e variedades (Cunha, 2018; Bortoletto, 2021). Além de permitir a caracterização diferenciada das aguardentes, sendo interessante o estudo e comparação com o perfil químico de bebidas envelhecidas em carvalho (Bortoletto, 2016).

Segundo Dias *et al.* (1998) ao analisarem algumas madeiras brasileiras (amburana, bálsamo, jequitibá, jatobá, ipê) verificaram que as madeiras incorporaram à aguardente os mesmos compostos fenólicos presentes em bebidas envelhecidas em carvalho. Observou-se que o tipo de madeira contribui de forma diferente sobre a composição da aguardente envelhecida, em relação aos compostos fenólicos específicos na bebida.

Castro *et al.* (2015) analisaram o efeito da densidade no processo de envelhecimento com madeiras brasileiras. A bebida envelhecida com jatobá apresentou maiores valores de densidade, já a madeira de louro vermelho possui a menor densidade e quantidade de taninos. A madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Heyne) Lee et Lang.) e o angelim-pedra (*Hymenolobium excelsum* Ducke), possuem maiores teores de extrativos e minerais, respectivamente. A madeira Camarurana (*Dipteryx polyphylla* (Huber)) é uma espécie que apresenta teores de taninos mais baixos com relação ao jatobá, assim também possui menor teor de extrativos. Os resultados do estudo também mostraram que a madeira de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Heyne) Lee et Lang.) seria a mais indicada para envelhecer cachaça por possuir maior densidade fazendo com que houvesse menor perda de volume líquido durante o armazenamento, além de possuir maiores teores de taninos.

Em estudo sobre o envelhecimento da cachaça em madeiras brasileiras (Cardoso, 2014) avaliou o envelhecimento de cachaça orgânica em barris de ipê, jatobá e sassafrás. Apresentam valores de compostos voláteis como acetaldeído, ésteres, metanol e álcoois superiores de acordo a legislação, no perfil sensorial as madeiras sassafrás e jatobá não apresentaram diferença significativa.

O emprego de madeiras brasileiras na produção de tonéis pode contribuir para uma diversidade de aromas e sabores em relação ao carvalho, que é uma madeira usada tradicionalmente no envelhecimento de bebidas. Entretanto é necessário conhecer as características fitoquímicas, taxonômicas e os possíveis efeitos sobre a saúde humana. São necessárias a classificação da matéria-prima que envolve analisar desde as raízes, folhas, frutos, casca e etc. e declarar as propriedades físico-químicas e sensoriais e os possíveis efeitos sobre a saúde humana (Silva, 2011).

3.7 SUPERFÍCIE ESPECIFICA

O conceito de superfície específica ainda não foi pesquisado e discutido no processo de armazenamento da cachaça ou outra bebida. São poucos os relatos que citam o termo superfície da madeira como fator na construção de toneis para o armazenamento o de bebida.

Um dos procedimentos comumente utilizados na produção de tonéis é a queima interna do recipiente. A queima colabora com a degradação térmica dos componentes da madeira, degradando os compostos indesejáveis, gerando moléculas aromáticas que agregam qualidade a cachaça. Esta queima auxilia no processo de extração dos compostos da madeira, devido ao aumento da superfície de contato entre a bebida e a madeira (Mapa da cachaça, 2014).

O uso de fragmentos como método acelerador de envelhecimento da cachaça tende a ser mais rápido, além de sustentável ambientalmente, um dos principais pontos é evitar a derrubada de árvores que seriam direcionadas a este fim, algumas inclusive estão em risco de extinção. A produção de barris novos e reparação daqueles danificados necessitam do uso do tronco, enquanto os fragmentos podem ser obtidos de qualquer parte da madeira (Januzzi, 2016).

As partes das árvores como galhos, cascas, folhas, raízes, flores e frutos tem-se a possibilidade de uso no envelhecimento do destilado. Entretanto, é necessário o conhecimento dos componentes que possam ser extraídos destas plantas, deve ser embasado em critérios químicos, uma vez que alguns compostos podem ser benéficos a saúde, como por exemplo compostos fenólicos que contém ação antioxidante, enquanto outros possam conter compostos tóxicos (Maia, 2021)

Segundo Miranda *et al.* (2006) os teores de compostos extraídos aumentam com o tempo de envelhecimento e o aumento da superfície de contato entre a bebida/madeira. Observou-se que as amostras de carvalho, amburana e bálsamo em maior tempo de envelhecimento tiveram

maiores concentrações de compostos da madeira em relação as amostras armazenadas em barril de jequitibá.

Deve-se considerar no envelhecimento, a razão superfície/ volume. Menores tonéis têm maiores relações superfície para volume e, conseqüentemente, resultam em maior rapidez de extração de componentes, mas também maiores taxas de evaporação de etanol e de água. Para uma mesma madeira e um mesmo histórico, em tonéis menores são esperadas produções maiores de extratos e envelhecem uísques em menos tempo (Piggott; Conner, 2003).

Segundo Almeida; Mendes (2022), o conceito da superfície específica permite basear-se em modelos matemáticos como parâmetro de construção de recipientes de madeira, um ponto importante a ser considerado na etapa envelhecimento da cachaça. Um recipiente com volume e diâmetro calculados através da superfície de contato, a área superficial em contato com o líquido será maior e conseqüentemente a extração do mais rápida e com menos tempo.

3.8 JAQUEIRA (*Artocarpus heterophyllus*)

As madeiras brasileiras estão cada vez mais sendo utilizadas pela tanoaria na construção de recipientes para armazenamento da cachaça. A espécie que vem ganhando bastante reconhecimento é a jaqueira. Alguns produtores dos estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia são os percussores da cachaça envelhecida em jaqueira. Devido à disponibilidade na natureza, sendo inversa a outras madeiras brasileiras, cada vez mais escassas, a jaqueira ocupa muito espaço, e prejudica o desenvolvimento de outras arvores (Fernandes, 2017).

A jaca (*Artocarpus heterophyllus*), pertence a família Moraceae, é uma fruta tropical comestível que nasce da jaqueira, uma arvore enorme. Acredita-se que seja originário dos Gates Ocidentais da Índia, e amplamente cultivada em Bangladesh, Birmânia, Malásia, Indonésia, Tailândia e, em menor escala, no Brasil e Austrália (Hossain, 2014).

No Brasil a espécie é considerada invasora devido a sua propagação e distribuição pela Mata Atlântica. Possui grande capacidade de crescimento e de produzir sementes em grandes variedades de condições climáticas e edáficas, produzi grande quantidade de sementes por fruto e grande habilidade competitiva por luminosidade, agua e nutrientes (Moura, 2011). A jaqueira se adaptou muito bem a Mata Atlântica, devido à ausência de competidores e parasitas, a alta quantidade de sementes e elevada taxa de germinação (Kahn, 2004; Rohr, 2008).

A jaqueira apresenta porte ereto, pode atingir de 20 a 25 metros de altura quando adulta, normalmente com diâmetro médio acima de 1 m, além de uma copa densa e irregular (Braz *et al.*, 2010; Pecinato, 2015). Dentre as espécies arbóreas cultivadas a jaqueira produz o maior

fruto em relação as demais, o fruto possui como características a succulência, aroma forte e de excelente sabor (Lorenzi *et al.*, 2006).

A madeira de jaqueira é comumente utilizada na medicina tradicional de alguns países, por possuírem compostos benéficos a saúde humana, dentre estes a morina (substancia tanina), flavonas e taninos (Utomo, 2016). Bastante utilizada na indústria moveleira devido a sua cor amarela, e de alta durabilidade. Entretanto, a madeira contém corantes que conferem pigmento de cor amarela e que pode ser utilizada como uma fonte alternativa de corantes naturais (Qadariyah *et al.*, 2017)

A madeira de jaqueira apresenta boa durabilidade natural e resistência, além de boa qualidade para os setores de carpintaria e marcenaria, porém é pouco estudada (Lorenzi *et al.*, 2006). Em contato com metais a madeira não apresenta oxidação. Sendo assim, a madeira não é apenas fonte de material de energia, ou para produção de papel, pode ser usada para inúmeros produtos provenientes de sua transformação química, conjuntamente com sua condição de matéria-prima renovável, o que a torna um bem de inigualável valor para a humanidade (Pecinato, 2015).

A fruta é bastante apreciada devido a sua maciez e succulência, aroma muito doce e frutado (Chai *et al.*, 2021). Alguns estudos fitoquímicos e farmacológicos foram realizados na polpa, folha, raiz e casca da jaca encontraram propriedades benéficas à saúde (Baliga *et al.*, 2011). As sementes são bastante utilizadas na elaboração de diferentes produtos panificados, como pães, macarrão e dentre outros. Possui uma abundancia em magnésio que desempenha um papel importante na redução da pressão arterial e na saúde óssea (Maurya; Mogra, 2016).

Devido à redução do potencial de extração dos compostos da madeira, a reposição dos mesmos para garantir a mesma qualidade de envelhecimento é fundamental importância, assim como estudo do uso da madeira e quais compostos podem contribuir positivamente para a bebida é prioritário. Estes compostos podem ser usados como marcadores do processo do envelhecimento da bebida. Porém, alguns compostos são benéficos à saúde, outros podem ser tóxicos (Maia, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Seleção da espécie de madeira

Para o experimento foi selecionada madeira proveniente de jaqueira (*Artorcarpus hetterophyllus*), seca com destinação para tanoaria, para confecção de três tonéis de 7 litros e 117 cubos (com mesma superfície molhada, proveniente das mesmas peças de madeira das aduelas e mesma espessura das aduelas (3 cm)). A escolha se deve ao fato de ser uma espécie recentemente utilizada pela tanoaria na produção de barris para envelhecimento da cachaça, e não haver estudos científicos sobre as contribuições dessa espécie para o envelhecimento de bebidas alcoólicas.

Da madeira foram analisadas as características morfológicas e colorimétricas pelo método Cielab, extrato seco e fenólicos totais. Visivelmente a madeira de jaqueira (*Artorcarpus Hetterophyllus*) apresenta uma cor amarelada, com tons dourados (Figura 1).

Figura 1 - Poliedros (cubos) e maravalhas da madeira jaqueira (*Artorcarpus hetterophyllus*)



A- Cubos menores oriundos da jaqueira recém confeccionados; B - Partes da madeira obtidas da serragem da confecção de tonéis. **Fonte:** Autoria própria (2023).

4.2 Delineamento

Para comparar o método clássico de envelhecimento, foram utilizados cubos de madeira, com medidas conhecidas, com espessura e área molhada igual ao tratamento convencional. Descritas a seguir:

A metodologia utilizada foi proposta por (Mendes, 2021) o tonel de madeira foi construído com geometria tronco cônica, com ângulo interno do cone gerador de $8,0284^\circ$. O volume interno (molhado, útil) = 7 dm^3 ou litros, com a área interna (molhada) = $20,78 \text{ dm}^2$,

incluindo a área lateral, da tampa e do fundo. Relação de esbeltez = $H/D = 28,5/17,7 = 1,61$ (Valor do número ϕ). A altura externa do tonel 38,5 cm, com altura interna entre a face inferior da tampa e a face superior do fundo de 28,5 cm, e os diâmetro superior externo, na altura da face interna da tampa = 22,7 cm = 2,27 dm; diâmetro inferior externo, na altura da face interna do fundo = 24,70 cm = 2,47 dm; diâmetro superior interno, na altura da face interna da tampa = 16,70 cm = 1,67 dm; diâmetro inferior interno, na altura da face interna do fundo = 18,70 cm = 1,87 dm; diâmetro médio externo, na altura média do tonel = 23,70 cm = 2,37 dm; diâmetro médio interno, na altura média do tonel = 17,7 cm = 1,77 dm; e em seguida calculado a superfície específica útil do tonel = $\text{Área interna}/\text{volume interno} = 20,77 \text{ dm}^2 / 7 \text{ dm}^3 = 2,96 \text{ dm}^{-1}$ Ou: S. E. = $[(2,85/1,77) + 0,5] / (0,25 \cdot 2,85) = 2,96 \text{ dm}^{-1}$ ou ainda, S.E. = $[(4+2/(H/D))/D] = 2,96 \text{ dm}^{-1}$ A espessura adotada para as aduelas, para a tampa e para o fundo foi de 3 cm. Os ressaltos inferior e superior foram de 1 a 2 cm. O volume total de madeira utilizada na confecção do tonel foi de 7,89 dm³; desse total, o volume de madeira utilizada na seção molhada foi de 6,23 dm³. Para todos os cálculos foi considerado que a relação 1 litro = 1 dm³. A superfície molhada dos cubos foi a mesma do tonel, ou seja, 20,77 dm².

4.3 Elaboração dos tonéis de madeira

Os tonéis de madeira foram confeccionados pela Tanoaria Dornas Havanás no município de Taiobeiras, situada no Norte do estado de Minas Gerais. Foram desenvolvidos três tonéis de madeira da espécie botânica Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*), com capacidade de 7 litros em formato tronco cônico (Figura 2). As dimensões de superfície específica estão descritas na Tabela 3. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e três repetições cada.

Figura 2 - Tonéis de madeira jaqueira utilizados no armazenamento convencional



Fonte: A autoria própria, 2023.

4.4 Tratamentos

Foram realizados cinco tratamentos: A – tratamento testemunha: cachaça branca em tonel de inox; B – tratamento testemunha com aeração: cachaça branca em tonéis de inox com aeração; C – maturação em tonéis de jaqueira de 7 litros: envelhecimento convencional; D – ‘envelhecimento acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com cubos de madeira de jaqueira; E – ‘envelhecimento acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com cubos de madeira de jaqueira, com aeração. Foram identificados com uma etiqueta sendo (A1, A2, A3), (B1, B2, B3), (C1, C2, C3), (D1, D2, D3), (E1, E2 e E3), os detalhes sobre as dimensões dos tonéis estão na Tabela 3.

.

Tabela 3 - Sinóptico das Características dos Tonéis e dos Tratamentos, em Triplicata, das Amostras de Cachaça.

Tonéis	Volume dos tonéis (L)	Volume das amostras (L)	Material do tonel	Relação de esbeltez dos tonéis (Hi/Dim)	Superfície específica (SE) molhada da madeira (dm ⁻¹)	Tratamento	Local
A1, A2, A3	10	7	Aço inox	1,2857	-	Testemunha	FACFAR/UFBA
B1, B2, B3	10	7	Aço inox	1,2857	-	Testemunha com aeração	FACFAR/UFBA
C1, C2, C3	7	7	Jaqueira	1,61*	2,962	Armazenamento convencional	FACFAR/UFBA
D1, D2, D3	10	7	Aço inox	1,2857	2,962	Acondicionamento com cubos	FACFAR/UFBA
E1, E2, E3	10	7	Aço inox	1,2857	2,962	Acondicionamento com cubos e aeração	FACFAR/UFBA

Fonte: Autoria própria, 2023.

4.5 Elaboração dos cubos de madeira

Para a confecção dos cubos de madeira de jaqueira foram adotadas as seguintes medidas:

Os 76 cubos de jaqueira, com arestas de 3 cm, com uma área individual de 54 cm² (0,54 dm²) e um volume de 27 cm³. Os 2 cubos de jaqueira, com arestas de 2 cm, com uma área individual de 24 cm² e um volume de 8 cm³. Os 38 cubos de jaqueira, com arestas de 3 cm, juntamente com o cubo de 2 cm de aresta, com uma área total de (2052+24 =2076) cm² e um volume total de (1026+27 = 1053) cm³. As aduelas que foram colocadas no tonel E, em número igual às utilizadas na confecção do tonel C, com 28,5 cm de comprimento, 3 cm de espessura e largura idêntica à das aduelas do tonel C. Todas as peças de madeira, inclusive o tonel C, tiveram suas massas definidas e anotadas.

Os cubos de madeira foram provenientes da mesma madeira da qual foram confeccionadas as aduelas utilizadas na construção do tonel. Para o tonel D1 a massa total de 39 cubos foi 640,08 g, sendo 634,69 a massa total dos 38 cubos com 3 cm de arestas e 5,39 para o cubo com 2 cm de aresta (Tabela 5); a massa média dos 38 cubos foi 16,70 g e a S.E de cada cubo igual a 0,2 dm⁻¹ (2,0 cm⁻¹) Tabela 4. Volume total dos 38 cubos 1.026 cm³, conduzindo a uma densidade média 0,619 g/cm³. Foram utilizados 640,08 g de madeira jaqueira, nas condições acima descritas, para 7 litros de cachaça, representando uma concentração de 91,44 g de madeira/L de cachaça.

Tabela 4 - Descrição dos 38 cubos de cada tonel, com aresta de 3 cm.

Tonel	Nº de cubos arestas (cm)	Massa dos cubos (g)	M. M. C (g)	D. M. C (g/cm ³)	R.M.C	VT
D1	38	634,69	16,70	0,619	90,67	1,026
D2	38	682,04	17,94	0,664	97,43	1,026
D3	38	621,10	16,34	0,605	88,72	1,026
E1	38	635,77	16,73	0,619	90,82	1,026
E2	38	717,88	18,89	0,699	102,55	1,026
E3	38	621,03	16,34	0,605	88,71	1,026

*Valor médio de cada cubo = 17,1601 g; M.M.C= Massa média do cubo; D.M.C= Densidade média do cubo; R.M.C= Relação massa/cachaça; VT = Volume total.

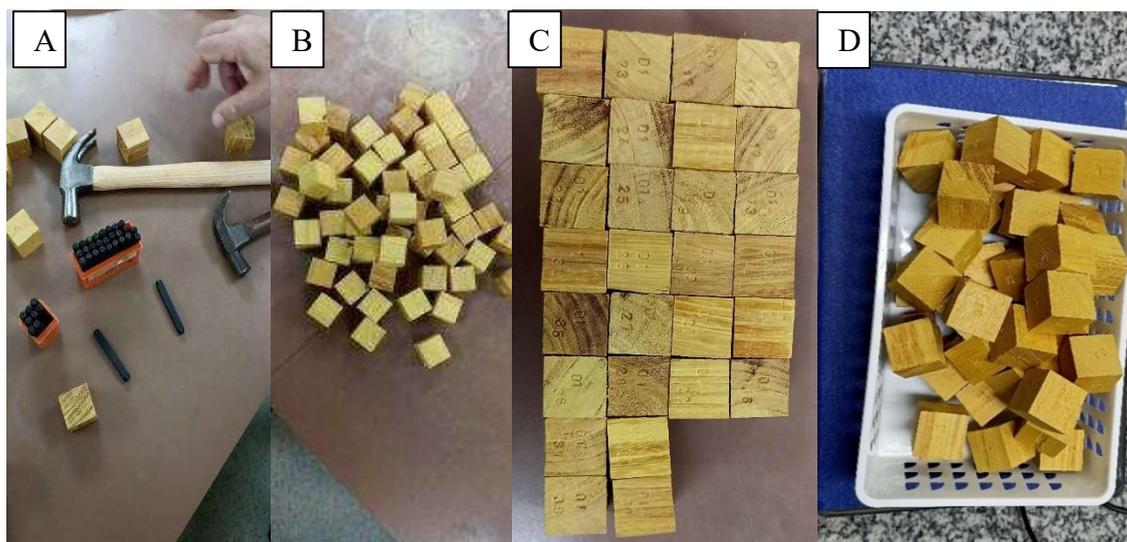
Cada cubo foi cortado com as mesmas medidas de espessura do tonel, com 3 cm de aresta, os cubos maiores com 3 cm e os menores com 2 cm de aresta. Um total de 39 cubos com medidas de 3 cm e 1 com aresta de 2 cm de aresta foi adicionado nos tonéis D e E. A descrição das medidas está na Tabela 5. Estas medidas são referentes ao diâmetro, e a relação área/volume. Foi realizado o método acelerado de armazenamento em recipientes de inox utilizando-se de poliedros (cubos) de madeira com e sem aeração. Os cubos foram identificados e pesados individualmente e anotado os valores, em seguida pesados novamente em conjunto, massa de todos os cubos estão em anexo V. Para a identificação do material, foi utilizado um marcador para inox (Figura 3A).

Tabela 5 - Descrição do cubo de cada tonel, com aresta de 2 cm.

Tonel	Nº de cubos arestas (cm)	Massa dos cubos (g)	M. M. C (g)	D. M. C (g/cm ³)	R.M.C
D1	1	5,39	5,39	0,224	0,77
D2	1	4,90	4,90	0,204	0,70
D3	1	4,93	4,93	0,205	0,70
E1	1	5,43	5,43	0,226	0,77
E2	1	4,74	4,74	0,195	0,67
E3	1	4,92	4,92	0,205	0,70

M.M.C= Massa média do cubo; D.M.C= Densidade média do cubo; R.M.C= Relação massa/cachaça.

Figura 3 – Identificação e pesagem dos cubos de madeira



A - Estampador alfa-numérico utilizado na identificação dos cubos e tonéis de madeira; B - Cubos de madeira; C - Cubos de madeira identificados; D - Pesagem dos cubos em conjunto.
Fonte: Autoria própria, 2023.

4.6 Elaboração dos tonéis de inox

Os tonéis de inox foram elaborados e produzidos pela fábrica de Alambiques Santa Efigênia, em Itaverava - MG. Foram construídos 12 tonéis, em triplicata. Os tonéis foram feitos para simulação do método alternativo, com sistema para implementação de aeração e evitar perdas de volume por evaporação.

As dimensões dos tonéis A, B, D, e E fabricados em aço inox, com volume útil de 10 L, são: 27 cm de altura e diâmetro de 21 cm, e ressalto de 1 a 2 cm (Tabela 6). Fabricados em aço inox AISI 305, com as dimensões especificadas, com tampa especial que não permite perdas por evaporação.

Tabela 6 – Medidas dos tonéis de aço inox tratamento testemunha: cachaça branca em tonel de inox (A); tratamento testemunha com aeração: cachaça branca em tonéis de inox com aeração (B); ‘envelhecimento acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com cubos de madeira de jaqueira (D); envelhecimento acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com cubos de madeira de jaqueira, com aeração (E).

Tonéis de inox	Volume L	Volume das amostras (L)	(RE) = H/D	H	D	Ressalto
A1, A2, A3	10	7	1,286	27 cm	21 cm	1 a 2 cm
B1, B2, B3	10	7	1,286	27 cm	21 cm	1 a 2 cm
D1, D2, D3	10	7	1,286	27 cm	21 cm	1 a 2 cm
E1, E2, E3	10	7	1,286	27 cm	21 cm	1 a 2 cm

RE – Relação de esbeltez; H- altura; D – diâmetro

Fonte: Autoria própria, 2023.

Para a simulação do processo de envelhecimento convencional, os tonéis de inox foram montados com sistema adaptado à aeração. Os tonéis possuíam três respaldos e um sistema de furos na parte superior que permitia o líquido retornar para o recipiente.

Os tonéis foram desenhados e montados (ANEXO IV) para que o ar fosse injetado de baixo para cima e conseguisse aerar todo o meio. O cano foi soldado a parede do tonel e no fundo o encaixe para que fosse colocada a pedra porosa que continha uma saída, então foi encaixada em uma mangueira de silicone e conectada ao compressor de ar.

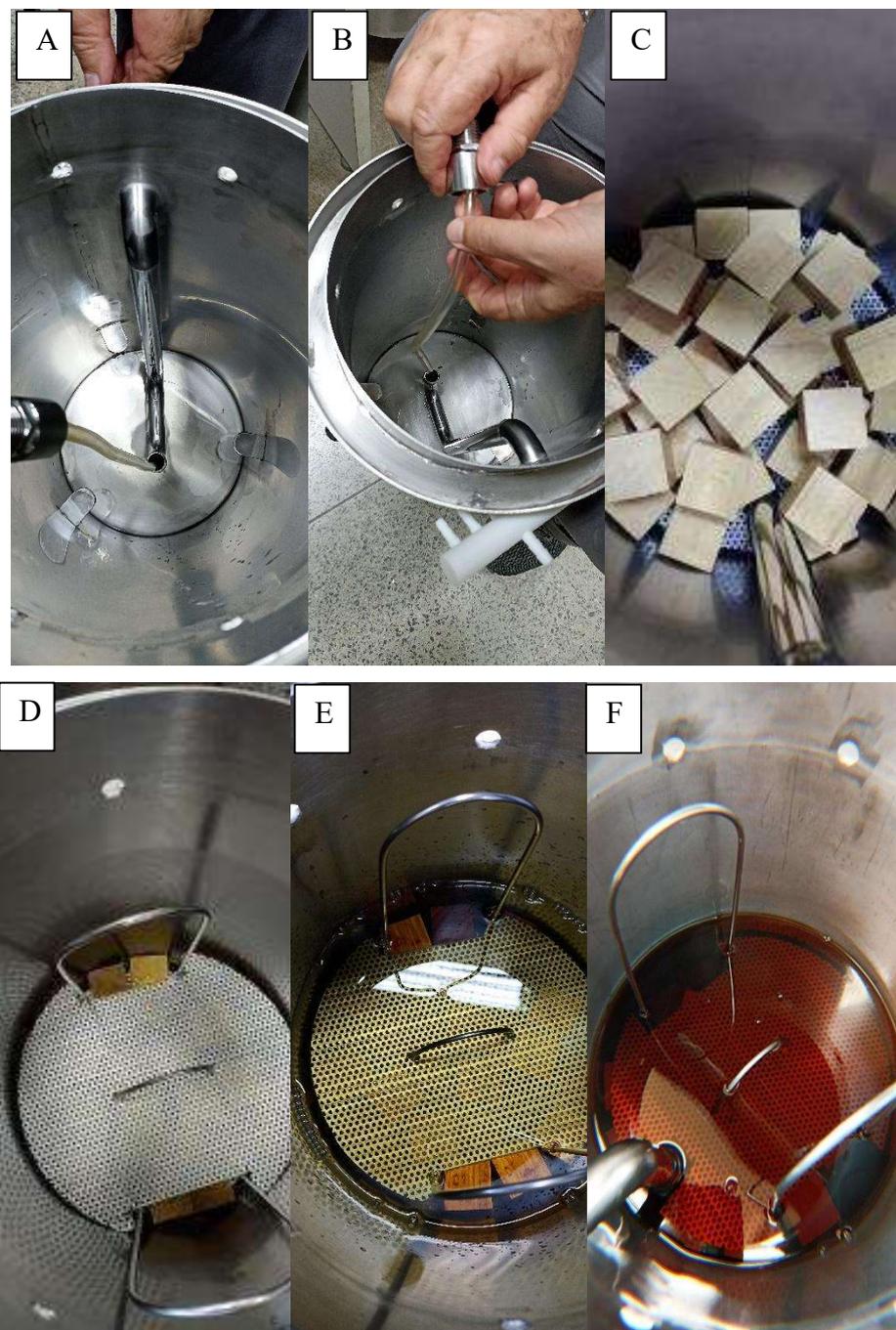
A geometria dos tonéis aerados e a suas respectivas tampas, foram projetadas com vistas à minimização de perdas de cachaça por evaporação (Figura 4). Além do sistema de aeração, cada tonel foi desenvolvido para que os cubos de madeira não ficassem acumulados no fundo do tonel, ficando suspensos no seio da massa líquida, totalmente imersos na cachaça, para isso o tonel contava com suporte perfurado posto a uma altura de $\frac{1}{4}$ a partir da base, os cubos ocupavam $\frac{2}{4}$ do recipiente e $\frac{1}{4}$ na parte superior somente com a cachaça (Figura 5). O desenho do tonel está disponível no anexo no anexo I.

Figura 4 - Tonéis de inox, experimento montado. Disposição dos tonéis de inox e conexões com compressor.



Etapa de montagem do experimento em tonéis de inox conectados aos compressores-aeradores.
Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 5 - Montagem do sistema de aeração e colocação dos cubos nos tonéis de inox.



A - Sistema de aeração visto pelo lado interno; B- Acoplamento da mangueira de silicone à pedra porosa; C - Distribuição dos cubos de madeira sobre a placa perfurada (suporte de sustentação dos cubos); D- Placa pressora sobre os cubos; E- Preenchimento do recipiente com a cachaça nas primeiras horas; F- Cachaça após 40 dias em contato com a madeira, sob aeração.
Fonte: Autoria própria, 2023.

4.7 Sistema de aeração dos tonéis

Foram utilizados três compressores de Ar Boyu Sc-7500, com ddp de 220 V, potência de 3,5 W, vazão volumétrica de 3 L/min, com duas saídas de ar conectadas por mangueira de silicone às pedras porosas, inseridas na parte inferior dos tonéis de inox, para aerar a cachaça (Figura 6).

A pressão efetiva de ar utilizada foi de 0,012 MPa (megapascal); com vazão de 3 L/minuto por bico aerador, equivalendo a 0,429 vvm (volumes de ar por volume de meio e por minuto), correspondendo, portanto, a uma injeção de 19,506 g de ar/dia, sendo que, dessa massa de ar, 4,530 g eram de oxigênio.

Figura 6 - Compressores-aeradores utilizados na aeração



Fonte: Autoria própria (2023).

4.8 Características da aguardente de cana utilizada no experimento

Os 105 litros de aguardente utilizados nos 5 ensaios do experimento, com graduação alcoólica de 48,3% v/v a 20 °C, foram produzidos em alambique de cobre, exclusivamente fração de coração, na empresa Alambique Santíssima Ltda., sediada na cidade de Pitangui - MG, safra de 2019.

4.9 Protocolos de acompanhamento e controle do experimento

O experimento foi desenvolvido no espaço físico do Laboratório Multiuso II da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia - UFBA, no Campus Ondina, em Salvador, no período entre 27 de setembro e 15 de dezembro de 2022.

Durante setenta e nove dias todo o processo foi monitorado por um termo-higrômetro (Hygro) que mediu a temperatura e umidade do ambiente onde foram acondicionados os barris.

Durante os 79 dias do experimento, a aeração era realizada todos os dias, por 30 minutos pela manhã (7:30h às 8:00h) e 30 minutos à tarde (19:30h às 20:00h).

Foi utilizada uma balança digital (Quanta) com capacidade máxima de 40 kg, ddp de 110/220V, e sensibilidade de 2 g. Para, após 21 dias do início do experimento, proceder-se à coleta de amostras, para as análises físico-químicas de acompanhamento, ficando dessa forma determinadas as massas dos tonéis antes da coleta das amostras (massa inicial), a massa após a coleta (massa final), bem como a massa das amostras coletadas.

Todas as terças-feiras foram realizadas as pesagens dos tonéis e em seguida realizada a coleta das amostras, novamente os tonéis eram pesados e então anotados os valores do peso inicial e peso final da semana.

Destaca-se que no 40º dia de experimento foi realizada a coleta de amostra, por representar a metade do período de duração do experimento.

Para os tonéis de inox foram realizadas primeiramente as etapas de higienização, foi utilizado água, sabão e álcool 70%. Foram lavados em água corrente com auxílio de sabão neutro e uma esponja. Após estes secos com papel toalha e limpos com álcool. Depois de secos os tonéis foram pesados na balança digital acima descrita, cada parte do tonel foi pesada individualmente (peneira, placa pressora, mangueira, tampa, pedra porosa e o corpo do tonel). Os pesos dos recipientes e respectivos componentes estão descritos no anexo III.

4.10 Coletas de amostras

Um volume de 70 mL de cada tratamento foi colhido para análise de parâmetros de cor, compostos fenólicos, extrato seco e cinzas a partir do 21º ao 79º dia do experimento. Foram estabelecidas as coletas nos tempo 0, 40 e 79 para o controle de qualidade da cachaça, foram coletados 190 mL de amostras, e realizadas as análises de teor alcoólico, densidade, acidez volátil, acidez total, metanol, pH, álcoois superiores (isobutanol, propanol, isobutilico, 1-butanol, 2-butanol), ésteres totais, e contaminantes (cobre, chumbo, alumínio, zinco, cádmio), conforme a metodologia de análises de bebidas e vinagres do Laboratório Nacional de Referência Vegetal do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005). A análise de açúcares totais e toxicidade foram realizadas no final do experimento, aos 79 dias, a amostra branca foi utilizada como tempo 0 (Descritos no capítulo II).

4.11 Análises da madeira

Após o término do experimento, os poliedros de madeira foram pesados com vista à determinação da capacidade de absorção de líquido (índice de encharcamento) de cada cubo de madeira, foi realizada a pesagem dos cubos individualmente e em conjunto, e então foi determinada a massa de encharcamento da madeira e a massa retida no poliedro, os mesmos foram levados à secagem em estufa a 105 °C por 48 horas, após retirados, foram levados ao dessecador por 30 minutos e novamente pesados. A diferença entre a massa inicial e o peso do cubo, irá quantificar os extrativos obtidos de cada cubo que migraram para a cachaça. Este acompanhamento teve por finalidade avaliar o quanto a cachaça conseguiu extrair da madeira e o quanto de massa ficou retido no cubo final.

O mesmo procedimento foi realizado no tonel de madeira, com vistas a quantificação do índice de encharcamento e dos extrativos existentes nas aduelas, tampa e fundo, o tonel de madeira jaqueira C1 foi desmontado, e as partes dele identificadas medidas com auxílio de uma trena e paquímetro e pesadas em balança (Quanta). Após secagem em estufa, as partes foram pesadas novamente.

Foram selecionados três cubos com massas próximas ou iguais à média do peso de todos os cubos, descritos como: cubo sem contato com a cachaça (novo); um cubo do tonel D sem aeração e um cubo oriundo do tonel E com aeração. Extraíu-se um cubo de uma aduela do tonel C1, representando o recipiente de envelhecimento clássico, totalizando quatro cubos. Esses cubos foram secos em estufa, levados ao dessecador, pesados e posteriormente triturados para as devidas análises. Foram determinados os teores de extrato seco, cinzas, acidez total, fenólicos totais e cor.

Para análise de morfologia macroscópica da madeira foram selecionados 4 cubos sendo: um cubo sem contato com a bebida (novo), um cubo oriundo do tonel com aeração, um cubo do tonel sem aeração e um cubo oriundo da aduela do tonel C1.

4.11.1 Obtenção do extrato

Após a secagem em estufa, os cubos de madeira foram triturados em granulometria de $\Phi 42$ mesh e em seguida pesados. Para o preparo da amostra foi utilizada a metodologia proposta por Castro *et al.* (2009) com algumas modificações. Foram utilizadas o correspondente a 5 g de amostra seca e moída, a qual foi extraída em 200 mL de solução etanólica 50% (v/v), em maceração a frio sob agitação constante por um período de 4 horas. E em seguida a solução ficou em repouso por 72 horas até o momento das análises. O extrato foi filtrado em papel filtro com auxílio de uma bomba vácuo.

Para a quantificação dos fenólicos totais foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu. 0,005 μL da amostra, 2,5 mL de reagente Follin-Ciocalteu a 10% e 2 mL de carbonato de sódio 7,5% em um tubo de falcon. Em seguida, as amostras foram agitadas em vortex e mantidas em ausência de luz durante 2 horas. Após este período foram realizadas as leituras a 760 nm em espectrofotômetro. Foi realizado um branco, utilizando água destilada no lugar da amostra. Os resultados foram calculados a partir de uma curva padrão de ácido gálico e expresso em microgramas de equivalente de ácido gálico (EAG).

4.11.2 Extrato seco

A análise de extrato seco foi realizada por meio de métodos gravimétricos. Inicialmente, uma cápsula de alumínio previamente pesada em balança analítica (Sartorius, TE214S), com precisão de 0,1 g. Em seguida, uma alíquota de 25 mL da amostra foi transferida para a cápsula e evaporada em banho-maria a 95 °C, por 3 horas. Após esse período, foram levadas à estufa a 100°C por 30 minutos e, posteriormente, o material foi resfriado em um dessecador. O resíduo sólido remanescente foi pesado em balança analítica, e os resultados obtidos foram expressos em gramas de extrato seco por litro da amostra.

4.11.3 Análise macroscópica da madeira

A análise de anatomia da madeira foi realizada no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. A metodologia de Siston *et al.* (2019) foi utilizada com algumas modificações. Foram confeccionados corpos de provas orientados em plano transversal, os quais foram polidos com lixas d'água com granulometria decrescente (80 a 1.200). A análise de características anatômicas macroscópicas foi realizada com olhos desarmados e com lupa conta-fios com aumento de 10 vezes. As imagens foram capturadas utilizando microscópio estereoscópico Leica, (modelo MZ16), acoplado a uma câmera Leica ligada a um computador com o software Image Manager (IM50), ou microscópio estereoscópico, acoplado à câmera Sony Cyber Shot com 8.1 Megapixels de resolução. As descrições macroscópicas da madeira seguiram as características propostas por Ruffinatto *et al.* (2015)

4.11.4 Determinação da cor

A análise de cor foi determinada pelo método Cielab para verificar as características da madeira antes e após a utilização no experimento. Foram analisadas todas as faces do cubo em triplicata através dos parâmetros $L^*a^*b^*$ ou CIELab, onde L^* representa à luminosidade,

expressa em percentagem (de 0 para o preto a 100 para o branco), a^* e b^* são duas gamas de cor que vão respectivamente do verde ao vermelho e do azul ao amarelo com valores que vão de -120 a +120. A partir dos valores de L (luminosidade), a (verde -/vermelho +) e b (azul -/amarelo +), foram determinados os valores de: croma métrica (c) e o ângulo de tonalidade (h). As análises foram realizadas em colorímetro. O aparelho foi ajustado em transmitância, com especular incluída, utilizando-se a placa de vidro limpo como branco de 10 mm de caminho óptico.

4.13 Análise de dados

Os resultados foram interpretados por meio da análise de variância (ANOVA), utilizando-se procedimentos do programa XLSTAT ("Statistical Analysis System"), versão 9.3. O teste de Tukey a 5% ($P \geq 0.05$), foi aplicado para comparar as médias dos resultados. Para os gráficos foi utilizado o Software Origin (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da madeira

5.1.1 Fenólicos totais e extrato seco

Foram selecionados quatro cubos sendo: Cubo novo; cubo da aduela do tonel (C1), cubo do tratamento D e E. As amostras apresentaram diferença significativa entre si para extrato seco e compostos fenólicos totais (Tabela 7). Pode-se observar que a amostra em contato com a aeração (1684) teve menor valor para o extrato seco (13,11 g/L), o uso da aeração pode ter contribuído para maior extração, haja visto que o tratamento (1682) teve valor próximo (4,02 g/L), diferentemente do tratamento (1990) com o teor de extrato seco (7,14 g/L) próximo ao encontrado para o cubo novo (1678) 7,70 g/L. Os tratamentos com poliedros extraíram maior quantidade de compostos da madeira em relação à matéria orgânica da madeira, quando comparados com o cubo padrão (1990).

Determinou-se a concentração de extrato seco total presente nos cubos (Tabela 7). Sabendo-se a massa do cubo total e deste utilizou-se apenas 12,5 gramas para extração, encontrou a massa de extrato seco total presente em cada cubo. Os valores encontrados mostram que o valor de extrato seco total encontrado, cerca de 3% do seu peso são extrativos que são transferidos para a cachaça/bebida. Segundo LOPES, (2008), as madeiras de coníferas contêm cerca de 5 a 8% do seu peso em extrativos, e folhosas geralmente contêm entre cerca de 2 a 4% e apresentam menor teor de ácidos resinosos.

Quanto a extração os cubos submersos a cachaça (16,82 e 1684) cerca de 70% do massa foi extraído pela a bebida. Entretanto, o cubo da aduela do tonel (1990) foi extraído abaixo 14%. Os teores de extrativos variam ao longo do tronco não somente em quantidade, mas também em composição. Por exemplo, no topo do tronco, há uma maior quantidade de células vivas (alburno) que resulta em maiores teores de glicerídeos e amido (substâncias de reserva) do que no cerne, presente em maior proporção na base do tronco (Jansson; Nilvebrant, 2009).

Para fenólicos totais (Tabela 7) a maior concentração foi encontrada em (1678) 291,42 mg/L, seguido de (1990) 262,17 mg/L e (1682) 170,20 mg/L, (1684) 153,94 mg/L, respectivamente. Os tratamentos com poliedros tiveram uma extraíram mais compostos da madeira quando comparado com o poliedro novo. O cubo (1678) teve maior concentração de fenólicos totais em relação aos demais que tiveram contato com a cachaça. Tomando este cubo como padrão, observa-se que a concentração dos demais cubos foram extraídos pela cachaça.

Tabela 7 – Valores de extrato seco total e fenólicos totais da madeira

Amostras	Extrato seco			% extraída	Fenólicos Totais mg/L
	g/L	E.S.T.C	E.S/M.C		
1678	7,70 ^a	2,067	12,32%	0%	291,42 ^a
1990	7,14 ^a	2,273	11,42%	14,06	263,17 ^a
1682	4,02 ^b	1,081	6,42%	79,09	170,20 ^b
1684	3,11 ^b	0,837	4,97%	61,23	153,94 ^b

1678- cubo novo (sem contato com a bebida); 1990 - cubo da aduela do tonel; 1682 - cubo sem aeração; 1684 - cubo com aeração.

E.S/M.C - Extrato seco/Massa do cubo; E.S.T.C - Extrato seco total no cubo.

Fonte: Autoria própria (2023).

5.1.2 Cor

A cor dos cubos usados no estudo foram analisados e estão apresentados na tabela 8. O parâmetro L* mede a luminosidade que varia de 0 (preto absoluto) a 100 (branco total), os dados deste parâmetro indica que o cubo mais claro é o de número 1684, pois sua média foi de 82,11, valor mais próximo de 100. A cor deste cubo tem uma proximidade com o (1990), isso quer dizer que a aeração possa ter influenciado na extração da pigmentação do cubo. Para o cubo (1678) a luminosidade está próximo a 0. Tomando este cubo como padrão, nota-se uma diferença em relação aos demais cubos, pode-se dizer que a cachaça extraiu em grande parte a pigmentação da madeira, pois os cubos em contato com bebida apresentam valores de L* mais elevados. Conforme observado pelo ângulo de tonalidade (h) no qual permite distinguir a

coordenada a^* da b^* , foram encontrados valores que indicam inclinação maior para a coordenada positiva a^* e b^* , valores mais próximos a pigmentação vermelho e amarelo.

Resultados similares foram apresentados por Barros *et al.* (2014) observaram diferenças nas amostras de madeira Breu-vermelho, Tauri-vermelho e Pequiarana, as espécies tiveram uma tendência de clareamento, diminuindo as coordenadas a^* (vermelho) e b^* (amarelo), ajudando a compor a cor mais clara da madeira.

Tabela 8 - Análise de variância dos cubos em relação aos parâmetros de cor

Amostra	L	a^*	b^*	C	h
1678	53,29 ± 0,02 ^a	36,87 ± 0,02 ^a	41,18 ± 0,04 ^a	55,27 ± 0,04 ^a	48,16 ± 0,02 ^a
1990	67,79 ± 0,00 ^a	33,13 ± 0,02 ^a	62,78 ± 0,03 ^a	70,98 ± 0,02 ^a	62,18 ± 0,02 ^a
1682	61,45 ± 0,00 ^a	37,07 ± 0,02 ^a	53,54 ± 0,00 ^a	65,12 ± 0,01 ^a	77,74 ± 0,01 ^a
1684	82,11 ± 0,01 ^a	13,87 ± 0,02 ^a	63,84 ± 0,00 ^a	65,33 ± 0,01 ^a	55,30 ± 0,01 ^a

1678- cubo novo (sem contato com a bebida); 1990 - cubo da aduela do tonel; 1682 - cubo sem aeração; 1684 - cubo com aeração. L – luminosidade; a^* - (verde 187 –/vermelho +) e b^* (azul –/amarelo +); C - croma métrica; h - ângulo de tonalidade.

5.1.3 Características anatômicas

A madeira apresentou uma textura de madeira dura é definida como fina se os vasos forem muito estreitos para serem visíveis a olho nu, média se os vasos forem pouco visíveis e grosseira se os vasos são visíveis (Ruffinato *et al.*, 2023).

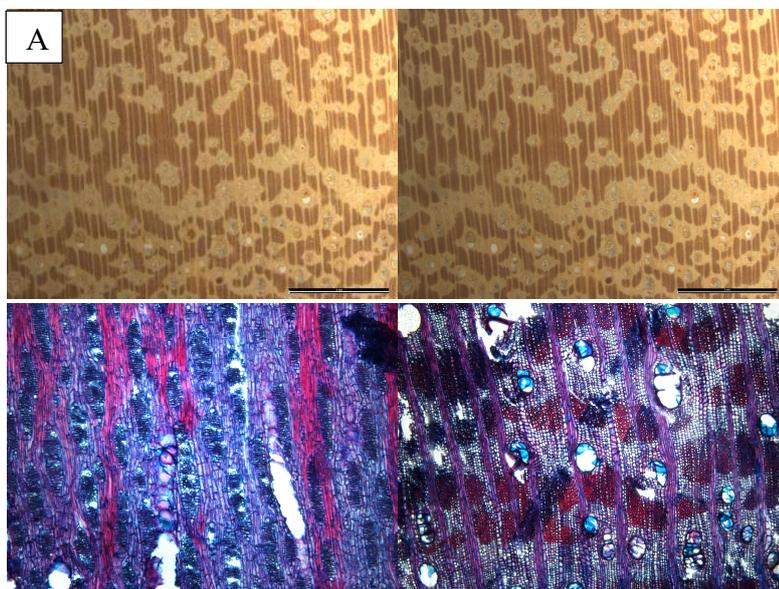
Observa-se que a análise anatômica da madeira jaqueira apresentou porosidade difusa, com vasos visíveis predominantemente solitários múltiplos de 1 e 2, de seção oval (Figura 9). Apresentam vasos visíveis e largos. Os raios são heterogêneos com presença de células procumbentes e eretas. As fibras são curtas e de parede delgada a espessa.

Seguindo o manual de identificação macroscópica de madeira (Zenid; Ceccantini, 2012) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), podemos classificá-la como: madeira que possui vasos distintos a olho nu, de grandes a médios e de numerosos a muito numerosos. Os vasos apresentam porosidade difusa e ocorrem num agrupamento de solitários a múltiplos. O parênquima axial é distinto sob lente e se apresenta na forma aliforme losangular, apresentando também faixas confluentes (Figura 7).

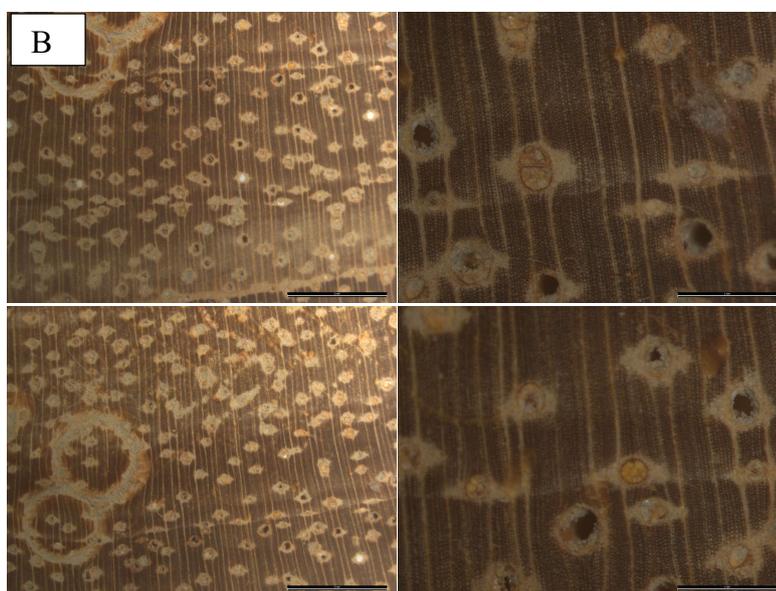
Os resultados encontrados corroboram com (Shing; Sharma; Sharma, 2017) analisaram a espécie do gênero *Artocarpus* no nordeste da Índia, e as características anatômicas da *A. heterophyllus* (jaqueira) diferiu das demais espécies estudadas em relação a ausência de fibra

septada. Os mesmos autores observaram que a jaqueira apresentou porosidade difusa, vasos solitários, cujas características anatômicas são comuns entre as espécies do gênero.

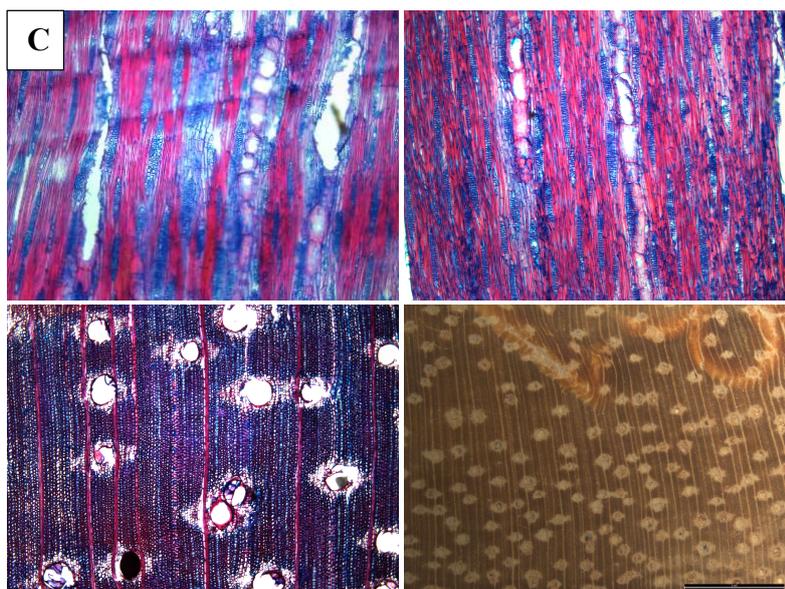
Figura 7 – Fotografias da análise anatômica dos cubos de madeiras.



Imagens dos corte realizados na amostra do poliedro (cubo) 1678, sem contato com a bebida.



Imagens dos corte realizados na amostra do poliedro (cubo) 1990, retirada da aduela do tonel.



Imagens dos corte realizados na amostra do poliedro (cubo) 1684, que esteve em contato com a cachaça, sob aeração.

5.2 Massa de encharcamento da madeira

Em média os poliedros de madeira tiveram uma média de encharcamento em torno de 80% (Tabela 9). Existe uma diferença em relação a cada tratamento, pode estar atrelado a parte da madeira utilizada na confecção dos cubos.

Os tratamento D1 (83,09%) e D3 (86,97%) apresentaram alta taxa de encharcamento, isso tem relação com o peso dos cubos na cachaça, indicando alta porosidade, seguido pelos tratamentos E3 (78,51%), D2(72,76%) e E1 (72,32%) E2 (69,46%). Entretanto, 40% em média da massa da madeira foi absorvida pelo liquido extrator (cachaça), correspondente a 6,5 g da cachaça. Esse valor corresponde ao absorvido pelo cubo e em seguida evaporado em estufa.

Com relação a massa retida no cubo após o processo de armazenamento, observa-se as amostras D1, D2 e D3 com média em torno de 50%, isso corresponde ao quanto que a cachaça extraiu do cubo e quanto ainda teoricamente está disponível possível para ser reutilizado. As amostras E1, E2 e E3 tiveram valores menores, porém com uma grande quantidade de massa retira, apesar da utilização da aeração, a mesma não esgotou o extrativo da madeira. A partir desses resultados será possível determinar por quanto tempo poderão ficar submersos a bebida e se tempo poderão ser reutilizados novamente.

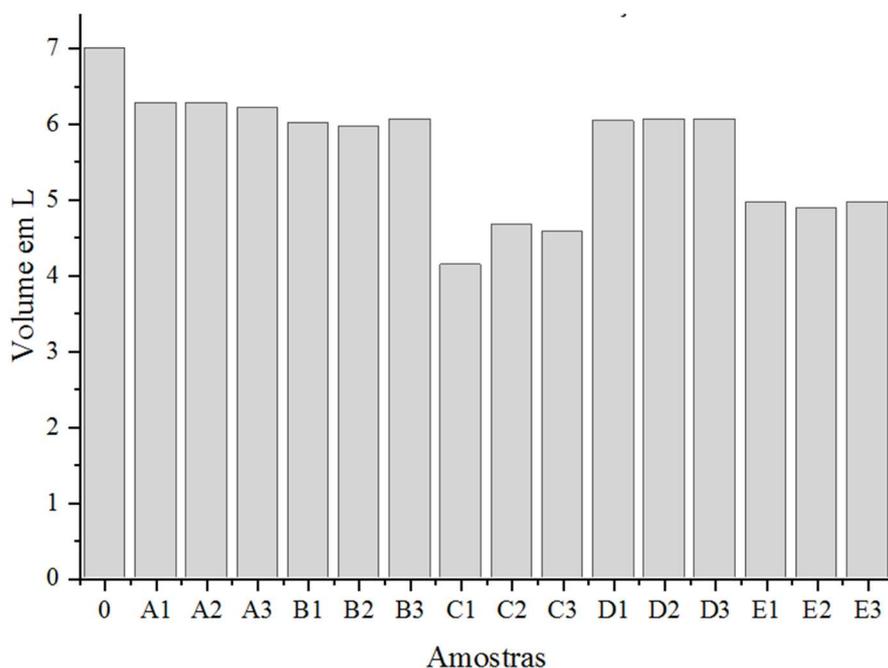
Tabela 9 - Médias dos cubos de madeira antes e após o processo de armazenamento

Amostras	Massa inicial	Massa final encharcada (g)	Massa da cachaça absorvida	Encharcamento	Massa absorvida %	Massa retida
D1	16,41	29,97	6,78	83,09	42	51
D2	17,61	30,49	6,44	73,76	37	45
D3	16,34	30,47	7,06	86,97	43	51
E1	16,44	28,14	5,85	72,32	36	44
E2	18,53	31,19	6,33	69,46	35	42
E3	16,05	28,58	6,27	78,51	39	47

D1, D2, D3 – Armazenamento em tonel de inox com poliedros de madeira; E1, E2, E3 – Armazenamento em tonel de inox com poliedros de madeira, sob aeração.

5.3 Volume final da cachaça

Foram utilizados 105 L de amostra distribuídos em 5 tratamentos com 7 litros cada. Ao final do experimento pode-se observar que a perda de volume do líquido em recipientes de inox foi menor do que a ocorrida nos tonéis de madeira (Figura 8). A perda do volume de destilado engloba o volume de amostras que foram coletadas para caracterização físico-química do produto e mais aguardente evaporada (Angel's share). A cachaça branca (B) quando aerada teve menor perda, quando comparada com a amostra com poliedros sob aeração (E). Os tonéis C1, C2 e C3 (tratamento convencional) tiveram maior perda de volume, no primeiro momento ocorre o encharcamento da madeira e ao longo do processo o líquido evapora pelo poros da madeira, consequentemente reduzindo o percentual alcoólico. Os tonéis D (tonéis inox com poliedros de madeira) tiveram menor perda de volume quando comparado aos demais que tiveram contato com a madeira. Quando armazenada em inox a cachaça branca (A) reduziu menos quando comparado com os demais tratamentos, estando próximo do tratamento (D). A redução do volume ocorreu devido as coletas, e principalmente por evaporação.

Figura 8 – Volume de cachaça final

0 - Amostra branca utilizada no experimento, A1; A2; A3 (cachaça branca armazenada tonéis de inox); B1; B2; B3 (cachaça branca armazenada em tonéis de inox com aeração); C1; C2; C3 (tonel de madeira, armazenamento convencional); D1; D2; D3 (cachaça armazenada em tonéis de inox com poliedros de madeira) e E1; E2; E3 (cachaça armazenada em tonéis de inox com poliedros de madeira sob aeração).

Durante o processo de armazenamento ocorre redução do volume da cachaça, devido a evaporação através dos poros da madeira. Neste experimento observou-se que em relação aos demais tratamentos, o armazenamento convencional teve maior redução de volume, seguidos dos tratamentos B e E que foram armazenados sob aeração (Tabela 10). O tratamento B em relação ao E teve menor perda de volume. Bortoletto (2016), observou a redução do teor alcoólico de aguardente em interação com lascas de madeira após 8 semanas e, explica que a principal razão para a ocorrência da redução de volume seja a evaporação do etanol promovida pela aeração, pois, as amostras sem aeração permaneceram com graduação alcoólica entre 56% e 55% (v/v) de álcool.

Tabela 10 – Volume de cachaça (mL) em diferentes tratamentos ao longo do período de armazenamento.

Amostras	Volume Inicial (mL)	Volume coletado	% Volume coletado	% perdas + coletas	Volume. Final (mL)	% Volume final
A 1	7000	147,78	2,11	-10,39	6273	89,61
A 2	7000	148,06	2,12	-10,40	6272	89,60
A 3	7000	147,75	2,11	-11,31	6208	88,69
B 1	7000	148,96	2,13	-14,11	6012	85,89
B 2	7000	148,12	2,12	-14,83	5962	85,17
B 3	7000	148,51	2,12	-13,39	6063	86,61
C 1	7000	593,83	8,48	-40,89	4138	59,11
C 2	7000	594,7	8,50	-33,39	4663	66,61
C 3	7000	596,41	8,52	-34,69	4572	65,31
D 1	7000	594,33	8,49	-13,74	6038	86,26
D 2	7000	594,55	8,49	-13,44	6059	86,56
D 3	7000	599,06	8,56	-13,46	6058	86,54
E 1	7000	591,82	8,45	-29,21	4955	70,79
E 2	7000	596,08	8,52	-30,31	4878	69,69
E 3	7000	597,4	8,53	-29,11	4962	70,89

A1; A2; A3 (cachaça branca armazenada tonéis de inox); B1; B2; B3 (cachaça branca armazenada em tonéis de inox com aeração); C1; C2; C3 (tonel de madeira, armazenamento convencional); D1; D2; D3 (cachaça armazenada em tonéis de inox com poliedros de madeira) e E1; E2; E3 (cachaça armazenada em tonéis de inox com poliedros de madeira sob aeração). Volume coletado (refere-se ao volume de coletas realizadas semanalmente).

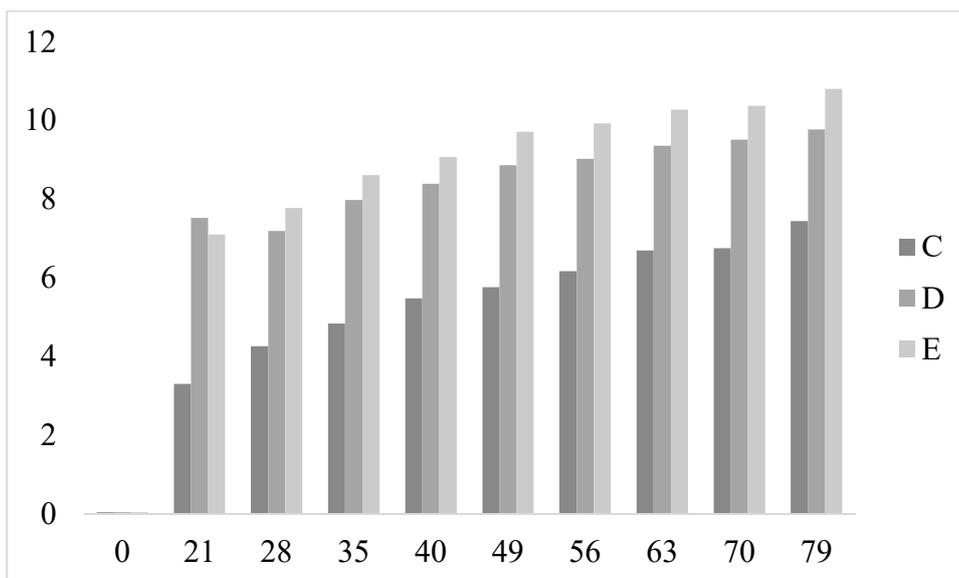
5.4 Extrato seco

Neste trabalho, os teores de extrato seco foram tomados como indicativo do processo de armazenamento. O teor de extrato seco na cachaça armazenada aumentou ao longo do período de 79 dias (Figura 9). Todas as amostras apresentaram teores de extrato seco acima do limite máximo estabelecido pela legislação brasileira (6,0 g/L) (Brasil, 2022).

O tipo de tratamento influenciou na composição de extrato seco da cachaça ao longo dos 79 dias de experimento. O teor de extrato seco final foi maior para o tratamento (E) seguido do tratamento (D) e (C). As menores concentrações foram para a cachaça armazenada em tonel de madeira (Figura 9). As maiores concentrações de extrato seco para os tonéis com poliedros de madeira, é devido toda a madeira estar em contato com a cachaça, enquanto o recipiente de madeira, somente a parte interna ocorre este contato, parte dos extrativos da parte interna acaba não sendo extraído pela bebida. Esses resultados não estão de acordo com os valores reportados por Santiago *et al.* (2014) que encontraram valores inferiores aos da legislação vigente.

O aumento no teor de extrato seco na cachaça poderia ocorrer em função da degradação da lignina pelo etanol em compostos aromáticos, como a vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído. Além da extração desses compostos pelo etanol, ocorrem ainda, alterações na lignina em virtude de oxidações e etanólise, as quais determinam denominações, como “vanila”, “adocicado” e “amadeirado” no destilado (Piggot; Conner, 2003).

Figura 9 – Evolução do teor de extrato seco nos tratamentos armazenados em madeira jaqueira.



C - cachaça armazenada em tonel de madeira; D - cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros; E - cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros sob aeração. 0 = amostra branca.

Fonte: Autoria própria, 2023.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final do processo de armazenamento da cachaça foi possível concluir que:

O uso de poliedros de madeira apresenta uma abordagem viável para o processo de envelhecimento da cachaça. A observação contínua do processo de armazenamento ao longo dos dias possibilitou identificar a influência da madeira jaqueira, bem como avaliar o impacto dos diferentes tratamentos associados a essa espécie.

A espécie de madeira jaqueira, contribuiu para a composição química da cachaça, provocando aumento dos compostos fenólicos, extrato seco, cor e acidez volátil. De acordo com os resultados obtidos, a madeira jaqueira apresentou características indicativas para ser utilizada na confecção de recipientes de envelhecimento, possui porosidade elevada, possibilitando menor perda de volume de líquido durante o armazenamento. Neste estudo, foi encontrada taxa

de letalidade para o microorganismo analisado, enfatiza-se a importância de se estudar as madeiras para o uso na tanoaria. Entretanto, vale ressaltar que por se tratar de uma espécie recentemente utilizada na tanoaria, são necessários estudos que possam definir as características morfológicas, bem como análises toxicológicas.

A cachaça armazenada em inox com poliedros de madeira apresentou maiores concentrações de compostos fenólicos, cor e extrato seco quando comparada com a cachaça do armazenamento convencional. Apesar das variações o teor de extrato seco e fenólicos totais, os maiores valores foram encontrados para a cachaça armazenada em poliedros de madeira, sob aeração. No armazenamento convencional foram encontrados valores abaixo de compostos fenólicos e extrato seco quando comparado com a cachaça armazenada em tonel de inox sem aeração. Sendo assim, pode-se dizer que o tipo de tratamento influencia na característica da cachaça, bem como na extração de compostos da madeira.

Assim como no envelhecimento convencional da cachaça em tonel de madeira, os tratamentos com poliedros com e sem aeração influenciaram na modificação das concentrações de compostos indesejáveis a bebida, como a redução de metanol e cobre. Houve aumento da acidez volátil, e diminuição dos ésteres totais.

A caracterização do processo de armazenamento a partir da superfície específica de contato entre a bebida-madeira demonstrou ser um parâmetro importante a ser considerado no envelhecimento da cachaça. Haja visto que, a cachaça obtida desta etapa apresentou características próximas e em alguns parâmetros até superiores ao armazenamento convencional.

Em relação a redução do volume da bebida, os tonéis de inox permitiram menor perda de amostra durante o experimento. A aeração influenciou no processo de armazenamento, contribuindo para a diminuição de alguns compostos desejáveis a cachaça, como ésteres, bem como o aumento de outros como extrato seco, e fenólicos totais. Sendo assim, a técnica de aeração precisa ser mais estudada e trabalhada na cachaça, para que possa ser empregada e possa ser contribuinte ao destilado.

Em relação aos testes sensoriais foi observado que não houve diferenças significativas entre as cachaças e o tipo de tratamento para o teste de aceitação. Entretanto, as amostras armazenadas em poliedros de madeira com e sem aeração tiveram maiores médias para aceitação, sendo as mais preferidas no teste de ordenação da preferência para os atributos cor, odor e sabor. A amostra obtida do armazenamento convencional foi a menos preferida pelos provadores. Para ordenação da preferência as amostras diferiram entre si para odor e cor.

Ressalta-se a importancia do estudo, e da continuidade do mesmo, para contribuir com melhorias ao setor da cachaça. Os resultados podem ser complementados com outros estudos, com maior tempo, o uso de madeira tostada, recipientes maiores, recipientes exauridos com poliedros de madeira, análises cromatográficas, além da caracterização do perfil químico e testes sensoriais com equipe treinada. Este estudo apresenta embasamento para a utilização da superfície específica como parâmetro determinante do processo envelhecimento da cachaça, além do uso de poliedros de madeira.

REFERÊNCIAS

- ABRABE (Associação Brasileira de Bebidas). Um brinde a vida: A história das bebidas. São Paulo, 2014. Disponível em: < <http://www.abrabe.org.br/wpcontent/uploads/2016/08/DBA-Abra-be-vFINAL.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2023.
- ARAPITSAS, P., ANTONOPOULOS, A., STEFANOPOULOS, E., & DOURTOGLOU, V. G. (2004). Artificial aging of wines using oak chips. **Food Chemistry**, v.86, n.4, p. 563–570. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.003>
- ALCARDE, A. R. **Cachaça: ciência, tecnologia e arte**. 2. ed. São Paulo: Ed. Blucher, 2017.
- ALMEIDA, R. O.; MENDES, B. A. O envelhecimento de cachaça como questão sociocientífica: a importância do conceito de superfície específica. **Indagatio Didactica**, v. 15, n. 1, p. 353-368, 2022.
- ANJOS, J. P.; CARDOSO, M. G.; SACZK, A. A.; DÓREA, H. S.; SANTIAGO, W. D.; MACHADO, A. M. R.; NELSON, D. L. Evolution of the concentration of phenolic compounds in cachaça during aging in an oak (*Quercus sp.*) barrel. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n.7, p. 1307–1314, 2011.
- BALIGA, M. S.; SHIVASHANKARA, A. R.; HANIADKA, R.; DSOUZA, J.; BHAT, H. P. Phytochemistry, nutritional and pharmacological properties of *Artocarpus heterophyllus Lam.* (jackfruit): A review. **Food Research International**, v.44, n.7, p.1800–1811, 2011. doi:10.1016/j.foodres.2011.02.035.
- BARROS, S. V. D. S.; MUNIZ, G. I. B. D.; MATOS, J. L. M. D. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**. v.20, p. 337-342, 2014.
- BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Congeners in sugar cane spirits aged in casks of diferente woods, **Food Chemistry**, v.139, p. 695-701, 2013.
- BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Assessment of chemical quality of Brazilian sugar cane spirits and cachaças. **Food Control**, v. 54, p. 1–6, 2015.
- BORTOLETTO, A. M. Composição química de cachaça maturada com lascas tostadas de madeira de carvalho proveniente de diferentes florestas francesas. 2013. 79 F. Dissertação (Mestrado em ciência de alimentos). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2013.
- BORTOLETTO, A. M. Influência da madeira na Qualidade Química e Sensorial da Aguardente de Cana envelhecida. Tese. Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Piracicaba. 231 f, 2016.
- BORTOLETTO, A. M. **O uso das madeiras brasileiras artigo 3**. INOVBEV, 2021. Disponível em: <https://www.inovbev.com/post/o-uso-das-madeiras-brasileiras>. Acesso em: 20, agos. 2023.

BRASIL. Instrução normativa nº 13, de 29 de junho de 2005. Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, jun. 2005.

BRASIL. Portaria nº 539, de 26 de dezembro de 2022. Estabelece os padrões de identidade e Qualidade da aguardente de cana e cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, dez. 2022.

BRAZ, R. F.; DUARTE, A. P. C.; MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; MAURI, R. Caracterização anatômica e tecnológica da madeira de jaca *Artocarpus heterophyllus* Lamk. XII Embramem. Anais. Lavras - MG, Julho, 2010.

CĂLUGĂR, A.; COLDEA, T.E.; POP, C. R.; POP, T. I.; BABEȘ, A. C.; BUNEA, C. I.; MANOLACHE, M.; GAL, E. Evaluation of Volatile Compounds during Ageing with Oak Chips and Oak Barrel of Muscat Ottonel Wine. *Processes*. v.8, p.1000, 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8081000>

CANAS, S. Phenolic Composition and Related Properties of Aged Wine Spirits: Influence of Barrel Characteristics. A Review. *Beverages* v.3, p.55, 2017. <https://doi.org/10.3390/beverages3040055>

CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA J. B. Análise descritiva quantitativa da aguardente de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus alba* L.). *Food Science and Technology*, v. 18 n. 2, 1998.

CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana**. 3. ed. Lavras: Editora UFLA, 2013. 340 p.

CARDOSO, K. C. R. Envelhecimento de cachaça orgânica em barris de diferentes madeiras. Programa de pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos. Escola agronomia (EA). Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2014.

CARPENA, M.; PEREIRA, A. G.; PRIETO, M. A.; SIMAL-GANDARA, J. Wine Aging Technology: Fundamental Role of Wood Barrels. *Foods* (Basel, Switzerland), v.9, n.9, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9091160>

Castro, M. C.; Bortoletto, A. M.; Silvello, G. C.; Alcarde, A. R. Lignin-derived phenolic compounds in cachaça aged in new barrels made from two oak species. *Heliyon*, v. 6, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05586>

CASTRO, J. P.; PERÍOLO, D. M.; BIANCHI, M. L.; FONSECA, A. S.; ALVES, I. C. N.; VASCONSELLOS, F. J. Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebida destiladas: Análise física e química da madeira. *CERNE*, vol.21 n. 2, 319-327, 2015. <https://doi.org/10.1590/01047760201521021567>

COLDEA, T. E.; SOCACIU, C.; MUDURA, E.; SOCACI, S. A.; RANGA, F.; POP, C. R. ... PASQUALONE, A. Volatile and phenolic profiles of traditional Romanian apple brandy after rapid ageing with different wood chips. *Food Chemistry*, v.320, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126643>

CORNIANI, L. S. Qualidade química e sensorial de cachaça envelhecida em barris de carvalho de diferentes espécies e quantidades de uso. 2017. 91 f. Dissertação (mestrado) –USP/ Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2017.

CUNHA, A. S. Análise de mercado de cachaça artesanal no Rio Grande do Sul. 64 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre. 2016.

CHAI, T. T.; XIAO, J.; MOHANA DASS, S.; TEOH, J. Y.; EE, K. Y.; NG, W.J.; WONG, F. C. Identification of antioxidant peptides derived from tropical jackfruit seed and investigation of the stability profiles. **Food Chemistry**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127876>

DANTE, L. R. Matemática: Contexto e aplicações. São Paulo: Àtica, v. 2, Ensino médio, 2012

DEL ALAMO SANZA, M.; NEVARES DOMÍNGUEZ, I. “Wine Aging in Bottle from Artificial Systems (Staves and Chips) and Oak Woods: Anthocyanin Composition.” **Analytica Chimica Acta** 563(1–2 SPEC. ISS.): 255–263, 2006.

DEL BARRIO-GALÁN, R.; MEDEL-MARABOLÍ, M.; PEÑA-NEIRA Á. “Effect of Different Aging Techniques on the Polysaccharide and Phenolic Composition and Sensory Characteristics of Syrah Red Wines Fermented Using Different Yeast Strains.” **Food Chemistry** 179:116–26, 2015.

FERNANDES, D. Pé de Jacá dá cachaça. E BOA! Conheça duas cachaças em jaqueira. Devotos da cachaça. 19 jul. 2017. Disponível em: <https://xn--devotosdacachaa-rmb.com.br/2017/07/19/cachaca-emjaqueira/cachaca-em-jaqueira-2/> Acesso em: 07 jun. 2023.

DIAS, S.; MAIA, A.; NELSON, D. Efeito de diferentes madeiras sobre a composição da aguardente de cana envelhecida. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n.1, p. 331-334, 1998.

FRANGIPANE, M-T.; DE SANTIS, D.; CECCARELLI, A. Influence of Oak Woods of Different Geographical Origins on Quality of Wines Aged in Barriques and Using Oak Chips. **Food Chemistry** v.103, n.1, p.46–54, 2007.

GARCÍA-MORENO, M. V.; SÁNCHEZ-GUILLÉN, M. M.; MIER, M. R. DE, DELGADO-GONZÁLEZ, M. J.; RODRÍGUEZ-DODERO, M. C.; GARCÍA-BARROSO, C.; GUILLÉN-SÁNCHEZ, D. A. Use of Alternative Wood for the Ageing of Brandy de Jerez. **Foods**, v.9, n.3, p.250, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9030250>

GOMEZ GARCIA-CARPINTERO, E.; GOMEZ GALLEGO, M. A.; SANCHEZ-PALOMO, E.; GONZALEZ VIÑAS, M. A. Impact of Alternative Technique to Ageing Using Oak Chips in Alcoholic or in Malolactic Fermentation on Volatile and Sensory Composition of Red Wines.” **Food Chemistry**, v.134, n.2, p.851–863, 2012.

GONSALVES, C. D.; RANZAN, L.; FERREIRA, T. L.; OTAVIO, T. J. Determination of the concentration of total phenolic compounds in aged cachaça using two-dimensional fluorescence and mid-infrared spectroscopy. **Food Chemistry**, 127142, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127142>

HOSSAIN, M. T.; HOSSAIN, M. M.; SARKER, M.; SHUVO, A. N.; ALAM, M. M.; RAHMAN, M. S. Development and quality evaluation of bread supplemented with jackfruit seed flour. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**, v.3, n.5, 484, 2014 » <http://dx.doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140305.28>

INSTITUTO BRASILEIRO DA CACHAÇA – IBRAC. Mercado externo. Disponível em: <https://.net/servicos/mercado-externo>. Acesso em: 26 set. 2023.

JANSSON, M. B.; NILVERBRANT, N. O. Wood extractives In: Ek M, Gellerstedt G, Henriksson G. Pulp and Paper Chemistry and Technology. v. 1. Berlin: De Gruyter. p.147-171, 2009.

JANUZZI, P. A cachaça e as técnicas de envelhecimento acelerado. 2018. Disponível em: <https://mapadacachaca.com.br/artigos/cachaca-envelhecimento-acelerado/>. Acesso em 19 set. 2023.

KHAN, M. L. Effects of seed mass on seedling success in *Artocarpus heterophyllus L.*, a tropical tree species of north-east India. **Acta Oecologica**, v.25, p.103–110, 2004.

LEHTONEN, M. High performance liquid chromatographic determination of manovolatile phenolic compounds in matured destiled alcoholic beverages. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 66, p. 71-80, 1983.

LOPES, O. R. Influência dos extrativos e da relação cerne/alburno nas análises da madeira por espectroscopia de infravermelho próximo para produção de celulose. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 103 f, 2008.

LORENZI, H.; SARTORI, S.F.; BACHER, L.B.; LACERDA, M.T.C. Frutas brasileiras e exóticas cultivadas: de consumo *in natura*. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, p. 672, 2006.

MAIA, A. B. A. Papel da madeira no envelhecimento da cachaça. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, [S. l.], v. 2, n. 8, p. e28682, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i8.682. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/682>. Acesso em: 20 ago. 2023.

MALACRIDA, C. R.; MOTTA, S. Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva. **Revista Ciência e Tecnologia em Alimentos, Campinas**, v.25, n.4, p. 659- 664, 2005

MAPA DA CACHAÇA. Os segredos da queima do barril no envelhecimento da cachaça. 2014. Disponível em: <https://mapadacachaca.com.br/artigos/os-segredos-da-queima-barril-no-envelhecimento-da-cachaca/>. Acesso em: 20 set. 2023.

MARTINI, C. S.; OMOTE, H. S.; DE PAULA, V. Envelhecimento acelerado de whisky através de tratamento térmico. **Revista Engenharia**, v.12, n.1, p.62-83, 2020.

MIRANDA, M. B.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Estudo do efeito da irradiação gamma (60Co) na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v. 26, n.4, p. 772-778, 2006.

MIRANDA, M. B.; MARTINS, N. G. S.; BELLUCO, A. E. S.; HORRI, J.; ALCARDE, A. R. Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 897- 901, out.-dez., 2007.

MAURYA, P.; MOGRA, R. Assessment of consumption practices of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam.) seeds in villages of Jalalpur block district Ambedarnagar (U.P.) India. *Remarking*, 2, 73-75, 2016.

MOURA, C. J. R. Estrutura populacional e avaliação de métodos de controle da espécie exótica invasora *Artocarpus heterophyllus* Lamk. (Moraceae) no Parque Estadual da Ilha Grande, Angra do Reis, RJ. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: UERJ. 70p, 2011.

NIE, XINYU.; LIU, KEXIN.; ZHANG, YIFAN.; WANG, ZIJUAN.; MENG, CHEN.; LIU, KEXIN.; ZHAO, ZHIHUI; AO, CHANGWEI. Effects of oak chips on quality and flavor of persimmon brandy: a comprehensive analysis of volatile and non-volatile compounds. **LWT- Food Science and Technology**, v. 183, p. 114915. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114915>.

QADARIYAH, L.; GALA, S.; WIDORETNO, D. R.; KUNHERMANTI, D.; BHUANA, D. S.; SUMARNO.; MAHFUD, M. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus lamk*) wood waste as a textile natural dye by micowave-assisted extraction method. *Conferência AIP. Processo*. 1840 (1): 100007, 2017. <https://doi.org/10.1063/1.4982324>

OBERHOLSTER, A.; ELMENDORF, B-L.; LERNO, L-A.; KING, E-S.; HEYMAN, H.; BRENNEMAN, C-E.; BOULTON, R-B. Barrel Maturation, Oak Alternatives and Micro-Oxygenation: Influence on Red Wine Aging and Quality. **Food Chemistry** 173:1250–58, 2015.

ORTEGA-HERAS, M.; PÉREZ-MAGARIÑO, S.; CANO-MOZO E. E.; GONZÁLEZ-SAN JOSÉ M. L. Differences in the phenolic composition and sensory profile between red wines aged in oak barrels and wines aged with oak chips. **LWT- Food Science and Technology**, v. 43, n.10, p.1533–1541, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.026>

PARAZZI, C. *et al.* Avaliação e caracterização dos principais compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de carvalho (*Quercus sp.*). **Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 193- 199, 2008.

PECINATO, K.A. Avaliação da qualidade da madeira de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) através de ensaios de usinagem. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil, p. 37, 2015.

PIGGOTT, J. R.; CONNER, J. M. Whiskies. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. (Eds.) *Fermented Beverage Production*. 2 ed. New York: Klumer Academic/Plenum Publishers, Cap.11, p. 239-262, 2003.

PIGGOTT, J. R.; CONNER, S. P. Descriptive sensory analysis of whisky flavor. **Journal Institute Brewing**, v.11, p.239-262, 2003.

PINOTTI, R. N.; VERDI, A. R.; JERONIMO, E. M. Processo de formalização da cachaça de alambique no Estado de São Paulo. *Revista Científica ANAP Brasil*, v.11, 76-89, 2018. ISSN 1984-3240

QADARIYAH, L. GALA, S. WIDORETNO, D. R.; KUNHERMANTI, D.; BHUANA, D. S.; SUMARNO.; MAHFUD, M. Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus lam.*) wood waste as a textile natural dye by microwave-assisted extraction method. *International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering 2016* v. 1840, n. 1, 2017 <http://dx.doi.org/10.1063/1.4982324>

RAKIC, S. *et al.* Influence of thermal treatment on phenolic compounds and antioxidant properties of oak acorns from Serbia. *Food Chemistry*, v. 104, n. 2, p. 830-834, 2007.

ROHR, R. Caracterização do solo e da serrapilheira em área de ocorrência de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* L.) no Parque Natural Municipal da Serra do Mendanha-RJ. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, p, 31, 2008.

RUFFINATTO, F, CRIVELLARO A, WIEDENHOEFT, A. C. Macroscopic wood features list. *IAWA Journal*. 36(2): 208-241, 2015.

RUFFINATTO, F.; NEGRO, F.; CRIVELLARO, A. The Macroscopic Structure of Wood. *Forests*. 2023, 14, 644. <https://doi.org/10.3390/f14030644>

SAKAI, R. H. Cachaça. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível Em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/cachaca>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SANTOS, F.; FERNANDES, O. W.; CALDAS, C.; EICHLER, P. **Tecnologia de produção de cana-de-açúcar e cachaça**. 1 ed. Viçosa, MG. p. 283-292, 2018.

SANTIAGO, W. D. *et al.* Perfil físico-químico e quantificação de compostos fenólicos e acroleína em aguardentes de cana-de-açúcar armazenadas em tonéis de diferentes madeiras. *Revista Científica*, Jaboticabal, v. 40, n. 2, 189-197, 2012. ISSN: 19845529.

SINGLETON, V. L. Maturation of wines and spirits: comparison, facts and hypotheses. *American Journal of Enology and Viticulture*, Davis, v. 46, n. 1, p. 98-115, 1995.

SILVA, A. A. Compostos fenólicos em madeiras brasileiras. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, J. M. da. Cachaça: história, gastronomia e turismo. São Paulo: Editora SENAC, 2018.

SOUZA, L. M.; FERREIRA, K. S.; PASSONI, L. C.; BEVITORI, A. B.; VIEIRA, K. M.; VIANA, A. R. Teores de compostos orgânicos em cachaças produzidas na região norte fluminense - Rio de Janeiro. *Química Nova*, v. 32, n.9, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000900012>

SOUZA, L. B. *et al.* Uso de extrato da madeira Amburana (*Amburana Cearensis*) na produção de aguardente – Análise sensorial. 2013. p.132-144. 2013

SCHUMACHER, R.; ALAÑÓN, M. E.; CASTRO-VÁZQUEZ, L.; PÉREZ-COELLO; M-S. DÍAZ-MAROTO, M-C. Evaluation of Oak Chips Treatment on Volatile Composition and Sensory Characteristics of Merlot Wine. **Journal of Food Quality**, v.36, p.1–9, 2013.

SINGH, M. K.; SHARMA, C.L. E.; SHARMA, M. Comparative Wood Anatomy of Four Artocarpus Species of North East India with Reference to Their Identification. **Wood Is Good**, p.73–81. 2017. <http://doi:10.1007/978-981-10-3115-18>

SMILAGIĆ, A.; DABIĆ ZAGORAC, D.; VELJOVIĆ, S.; SREDOJEVIĆ, M.; RELIĆ, D.; FOTIRIĆ AKŠIĆ, M.; NATIĆ, M. Release of wood extractable elements in experimental spirit model: Health risk assessment of the wood species generated in Balkan cooperage. **Food Chemistry**, v.338, 127804, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127804>

TAO, Y.; GARCÍA, J. F.; SUN, D. W. Advances in wine aging technologies for enhancing wine quality and accelerating wine aging process. Critical reviews in **Food science and nutrition**, v.54(6), p.817-835, 2014.

TARKO, T.; KRANKOWSKI, F.; DUDA-CHODAK, A. The Impact of Compounds Extracted from Wood on the Quality of Alcoholic Beverages. *Molecules*, v.28, 620. 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28020620>

VIEGAS, E. K. D. Potencialidade de eucaliptos para o armazenamento ou envelhecimento de cachaça. Tese Doutorado – Universidade de São Paulo - Esalq. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Piracicaba – SP, p.120, 2015.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. Identificação macroscópica de madeiras. Instituto de Pesquisas Tecnológica de São Paulo (IPT), São Paulo. 2012.

Capítulo II

Manuscrito: Impacto do uso de poliedros e tonel de madeira da espécie jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) no armazenamento da cachaça

Impacto do uso de poliedros e tonel de madeira da espécie jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) no armazenamento de cachaça

Wilton Amaral dos Santos^a, Gabriel Benedito Rozendo Bonfim^b, Jaqueline de Jesus Santos^b, Raimunda Fernandes de Souza Fonseca^c, Benjamim de Almeida Mendes^d, Maria Eugênia de Oliveira Mamede^{e*}

^aPós - graduando em Ciência de Alimentos - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, UFBA

^bFaculdade de Farmácia - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, UFBA

^bGraduanda em Farmácia - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, UFBA, jaqueline.sj@outlook.com

^cLaboratório de Bromatologia - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, UFBA

^dAssociação Nacional dos Produtores e Integrantes da Cadeia Produtiva e de Valor da Cachaça de Alambique - ANPAQ, benjaalmendes@gmail.com.

^eDepartamento de Análises Bromatológicas - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, UFBA - mmamede@ufba.br.

<i>Periódico a ser submetido (1ª</i>	<i>Journal of the institute of Brewing e ISSN 2050-</i>
<i>submissão):</i>	<i>0416</i>
<i>Maior percentil (Scopus):</i>	<i>68%</i>
<i>Periódico a ser submetido (2ª</i>	<i>JOURNAL OF FOOD ENGINEERING - 0260-8774</i>
<i>submissão):</i>	
<i>Maior percentil (Scopus):</i>	<i>95%</i>

*Corresponding author: Maria Eugênia de Oliveira Mamede. Rua Barão do Jeremoabo, 147, Ondina, 40170-115, Salvador -BA. Brazil. E-mail: mmamede@ufba.br

RESUMO

O envelhecimento da cachaça é uma etapa opcional, mas importante para aprimorar a qualidade e agregar valor ao produto. O uso de poliedros de madeira (cubos) é uma técnica utilizada para maturação de outras bebidas, abrindo perspectivas para aprimorar a cachaça. O objetivo foi avaliar os efeitos da adição de poliedros e o uso de tonel de madeira jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) no processo de armazenamento da cachaça, com foco na qualidade química do produto final. Para isso, foram realizados cinco tratamentos distintos: A - cachaça branca em tonel de inox; B- cachaça branca com aeração; C - cachaça branca armazenada em tonel de madeira; D - cachaça branca armazenada em inox com poliedros; E - cachaça branca armazenada em inox com poliedros sob aeração. Foram coletadas amostras nos tempos 40 e 79 dias para os parâmetros físico-químicos, 21 a 79 dias para fenólicos totais (FT) e cor. A temperatura em média 24,6°C e umidade 72%. Houve aumento da acidez volátil em 40 e 79, com valores de D (43,26; 46,69), E (35,60; 46,87), C (42,31; 46,05), A (32,18; 33,37) e B (37,39; 39,46 mg/100 mL) em relação ao padrão (32,38 mg/100 mL). Da mesma forma, a acidez total apresentou maiores concentrações em E (106,97; 173,59), D (96,88; 127,66) e C (68,62; 112,12 mg/100 mL), enquanto A e B se mantiveram estável. Os ésteres totais reduziram entre 40 e 79 dias, D (54,89; 52,91) e E (31,24; 31,70), diferentemente de C (39,34; 41,38 mg/100 mL). A soma dos álcoois superiores ficou abaixo do limite (360,0 mg/100 mL). C, D e E reduziram a concentração de cobre, mas apresentaram ES acima do limite (6 g/L), D (8,40; 9,78 g/L) e E (9,07; 10, 81 g/L) em relação ao C (5,58; 7,44 g/L). A aeração influenciou no processo de armazenamento, havendo aumento da acidez e a diminuição do teor alcoólico. A madeira jaqueira se mostrou tóxica para *A. Sallina*. De acordo a ACP a cor não influenciou na composição fenólica da cachaça. As amostras que tiveram maior tempo de contato com a madeira tiveram um agrupamento com FT e a^* . Os tratamentos D e E destacam-se com teores elevados de FT, ES e cor, características típicas de uma bebida envelhecida. Portanto, o uso de poliedros de madeira se mostra uma abordagem promissora e viável para o armazenamento da cachaça, enriquecendo suas qualidades e fornecendo uma alternativa interessante para a indústria.

Palavras-Chaves: Processo de tratamento. Inovação. Chips de madeira. Maturação

Abstract

The aging of cachaça is an optional but important stage to enhance quality and add value to the product. The use of wooden polyhedra (cubes) is a technique employed for maturing other beverages, opening up possibilities to enhance cachaça. The aim was to evaluate the effects of adding polyhedra and using jackfruit tree wood barrels (*Artocarpus heterophyllus*) in the cachaça storage process, focusing on the final product's chemical quality. For this purpose, five distinct treatments were carried out: A - white cachaça in stainless steel barrel; B - white cachaça with aeration; C - white cachaça stored in wooden barrel; D - white cachaça stored in stainless steel with polyhedra; E - white cachaça stored in stainless steel with polyhedra under aeration. Samples were collected at 40 and 79 days for physicochemical parameters, 21 to 79 days for Dry Extract (DE), total phenolics (TP), and color. The temperature averaged 24.6°C, with humidity at 72%. There was an increase in volatile acidity at 40 and 79 days, with values for D (43.26; 46.69), E (35.60; 46.87), C (42.31; 46.05), A (32.18; 33.37), and B (37.39; 39.46 mg/100 mL) concerning the standard (32.38 mg/100 mL). Likewise, total acidity showed higher concentrations in E (106.97; 173.59), D (96.88; 127.66), and C (68.62; 112.12 mg/100 mL), while A and B remained stable. Total esters decreased between 40 and 79 days, D (54.89; 52.91) and E (31.24; 31.70), unlike C (39.34; 41.38 mg/100 mL). The sum of higher alcohols remained below the limit (360.0 mg/100 mL). C, D, and E reduced copper concentration but exhibited DE above the limit (6 g/L), D (8.40; 9.78 g/L), and E (9.07; 10.81 g/L) compared to C (5.58; 7.44 g/L). Aeration influenced the storage process, increasing acidity and decreasing alcohol content. The jackfruit wood proved toxic for A. Sallina. According to PCA, color did not affect the phenolic composition of cachaça. Samples with longer wood contact time grouped with TP and a*. Treatments D and E stood out with elevated levels of TP, DE, and color, typical traits of an aged beverage. Hence, the use of wooden polyhedra proves to be a promising and viable approach for cachaça storage, enriching its qualities and providing an interesting alternative for the industry.

Keywords: Treatment process. Wood cubes. Maturation

INTRODUÇÃO

Em 2022 a cachaça foi exportada para mais de 75 países, o fato se dá devido ao esforço do setor em mudar o cenário dos anos em que a pandemia assolou o mundo. Um crescimento de 54,74% em relação ao ano de 2021 (IBRAC, 2022). A cachaça é o terceiro destilado mais consumido no mundo, atrás apenas da vodka e soju (destilado coreano) (Bertolino, 2023; Tonini e Pacheco, 2014).

Considerada o destilado brasileiro, a cachaça é uma bebida obtida, basicamente, pela destilação do caldo fermentado da cana-de-açúcar com teor alcoólico de 38% a 48% v/v a 20 °C (Brasil, 2022). O processo de envelhecimento é uma etapa cada vez mais empregada após a destilação da cachaça e de alta importância para o perfil sensorial da bebida (Bortoletto e Alcarde, 2013). Cada madeira apresenta um perfil de fenólicos característico que irá refletir na bebida (Castro *et al.*, 2020).

Ao longo do processo de envelhecimento a madeira reduz o seu potencial extrativo e a reposição dos mesmos é crucial para assegurar a consistência na qualidade do envelhecimento, assim como estudo do uso da madeira e quais compostos podem contribuir positivamente para a bebida. Os compostos podem, inclusive, ser utilizados como marcadores do processo de envelhecimento da bebida (Biagioni, 2021).

No envelhecimento em recipientes de madeira, a oxidação é desencadeada pela difusão lenta e contínua de oxigênio pela madeira e espaço entre as aduelas (Del Álamo-Sanza & Nevares, 2014). No processo com de lascas de madeira o oxigênio inserido na bebida é realizado através do micro-oxigenação (Sanches-gómez *et al.*, 2018). A micro-oxigenação influencia na produção de microbolhas, simulando o processo natural em barril de madeira.

Em estudo com lascas de carvalho, Stegarus *et al.*, (2021), observou que ao comparar o uso de lascas tostadas e não tostadas e barricas tostadas, a maioria dos fenóis voláteis foi quantificado no vinho que esteve em contato com as lascas levemente tostadas. Entretanto, tende-se a levar em consideração as vantagens ao se utilizar poliedros de madeira, principalmente do ponto de vista econômico quanto ambiental (Ianni *et al.*, 2020)

Uma das técnicas aliadas ao uso de poliedros de madeira “asparas” é a micro oxigenação que auxilia na extração mais rápida dos compostos derivados da madeira (Canas *et al.*, 2019) e permite simular o mesmo processo que ocorre em um barril de madeira. A junção destas duas técnicas permitiu acelerar o processo de envelhecimento

da aguardente vínica em comparação com o processo convencional, obtendo uma aguardente de maior qualidade (Caldeira *et al.*, 2021; Granja- Soares *et al.*, 2020)

Recentemente a legislação brasileira permitiu o uso de chips de madeira na etapa de armazenamento da cachaça, desde que seja mencionado no rótulo “armazenado em”, sendo assim, o produto não é considerado envelhecido. O emprego desta técnica deve levar em consideração o tipo de madeira, tosta e o modo como será utilizada na bebida (BRASIL, 2022). As novas tecnologias para a produção da cachaça são de suma importância, visando um destilado de maior qualidade, em se tratando principalmente do envelhecimento.

As espécies nativas possuem múltiplos usos, além de deterem características que se adaptam com facilidade ao ambiente da região em que a espécie é nativa (Goulart *et al.*, 2012). De acordo com Bortoletto (2021) as madeiras amendoim, jequitibá, ararua, grápia, ipê e freijó dentre outras madeiras são utilizadas na fabricação de barris de armazenamento e envelhecimento da cachaça. Uma madeira em especial tem aberto caminhos entre a biodiversidade brasileira e requerido para seus tonéis um lugar de destaque na produção cachaceira: a jaqueira (Fernandes, 2017).

A espécie Jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) é uma árvore comum no Brasil, mas sua origem é do sul da Ásia, provavelmente da Índia. Devido a sua ampla disponibilidade, recentemente vem sendo utilizada por produtores no Sul da Bahia e Espírito Santo como recipiente para envelhecimento da cachaça. O produto final apresenta cor característica de um amarelo dourado e sabor doce. A madeira traz doçura intensa acompanhada de especiarias (Jannuzzi, 2018; Fernandes, 2017). Sendo usada como agente antioxidante, antienvelhecimento, anti-inflamatório e de cuidados com a pele (Nguyen *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do uso de poliedros de jaqueira (*Artocarpus heterophyllus*) no armazenamento da cachaça em termos da qualidade físico-química da bebida, usando diferentes tratamentos em tonel de madeira e aço inox com e sem o uso da aeração.

MATERIAIS E MÉTODOS

CONFECÇÃO DOS TONÉIS

Os tonéis da espécie de madeira jaqueira (*Artocarpus Heterophyllus*) foram doados pela Tanoaria Dornas Havanás, apresentando um volume final de 7 litros, em triplicata. Estes foram desenvolvidos em formato tronco cônico, levando em consideração a superfície específica de contato entre a madeira e a bebida, com as seguintes dimensões em diâmetros: altura externa do tonel 38,5 cm, com altura interna entre a face inferior da tampa e a face superior do fundo de 28,5 cm, e os diâmetro superior externo, na altura da face interna da tampa = 22,7 cm = 2,27 dm; diâmetro inferior externo, na altura da face interna do fundo = 24,7 cm = 2,47 dm; diâmetro superior interno, na altura da face interna da tampa = 16,7 cm = 1,67 dm; diâmetro inferior interno, na altura da face interna do fundo = 18,7 cm = 1,87 dm; diâmetro médio externo, na altura média do tonel = 23,7 cm = 2,37 dm; diâmetro médio interno, na altura média do tonel = 17,7 cm = 1,77 dm, a espessura da aduela de 3 cm. e em seguida calculado a superfície específica útil do tonel = $\text{Área interna/volume interno} = 20,776 \text{ dm}^2 / 7 \text{ dm}^3 = 2,962 \text{ dm}^{-1}$ Ou: S. E. = $[(2,85/1,77) + 0,5] / (0,25 \cdot 2,85) = 2,962 \text{ dm}^{-1}$ ou ainda, S.E. = $[(4+2/(H/D))/D] = 2,962 \text{ dm}^{-1}$ A espessura adotada para as aduelas, para a tampa e para o fundo foi de 3 cm. Os ressaltos inferior e superior foram de 1 a 2 cm. O volume total de madeira utilizada na confecção do tonel foi de $7,89 \text{ dm}^3$; desse total, o volume de madeira utilizada na seção molhada foi de $6,233 \text{ dm}^3$. Para todos os cálculos foi considerado que a relação 1 litro = 1 dm^3 . A superfície molhada dos cubos foi a mesma do tonel, ou seja, $20,776 \text{ dm}^2$. Os poliedros de madeira (cubos) foram oriundos das aduelas utilizadas no processo de montagem dos tonéis, com 3 cm de aresta, os poliedros maiores com 3 cm e os menores com 2 cm de aresta. Um total de 38 cubos com medidas de 3 cm e 1 com aresta de 2 cm de aresta foi adicionado nos tonéis D e E.

As dornas de inox foram doadas pela fábrica de Alambiques Santa Efigênia, sediada em Itaverava - MG. Fabricados em aço inox AISI 305, com volume útil de 10 L, são: 27 cm de altura e diâmetro de 21 cm, e resalto de 1 a 2 cm. Foram realizados quatro tratamentos utilizando dornas de inox, em triplicata, com capacidade de dez litros.

DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO

Para estudar o processo de armazenamento foram realizados os seguintes tratamentos: A – tratamento testemunha: cachaça branca em tonel de inox; B – tratamento testemunha com aeração: cachaça branca em tonéis de inox com aeração; C – maturação em tonéis de jaqueira de 7 litros: envelhecimento convencional; D – ‘envelhecimento

acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com cubos de madeira de jaqueira; E – ‘envelhecimento acelerado’: cachaça branca em tonéis de inox, com cubos de madeira de jaqueira, com aeração.

Na etapa de aeração dos tonéis, os recipientes foram desenvolvidos com um sistema que permitiu a adaptação para entrada de aeradores, o ar injetado foi repassado através de uma pedra porosa, e as microbolhas foram liberadas em pequenas quantidades. Para a etapa de aeração/oxigenação foram utilizadas compressores de Ar Boyu Sc-7500 com duas saídas de ar, 220 V, 220 V, 3,5 W, vazão de 3 L/min, com duas saídas de ar, inseridas nos tonéis de inox com auxílio de uma mangueira de silicone. Utilizou-se a medida em megapascal (MPa), com tempo de aeração de 1 hora por dia, vazão de 3 L/minuto, equivalente a 0,429 vvm (volume de ar por volume de meio por minuto), injetou 19,506 g de ar/dia.

Os tonéis foram desenvolvidos com o sistema que permitia que o líquido não evaporasse e viesse a ter perdas, ou seja, na tampa dos toneis de inox foram feitos furos, o líquido evaporava e retornava ao recipiente. Foi utilizado um termo-higrômetro para acompanhar a temperatura e umidade do ambiente, que coletava a temperatura e umidade no intervalo de 24 horas, sendo depois reiniciado.

No experimento, todos os tratamentos e repetições foram armazenados sob as mesmas condições, em sala fechada com controle de temperatura.

ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE ARMAZENAMENTO

Foi utilizado 7 litros de aguardente em cada tonel, totalizando 105 litros, a uma temperatura ambiente de 25 °C. O experimento teve duração de 79 dias, começando em setembro e finalização em dezembro de 2022. O processo de aeração foi realizado duas vezes ao dia, sempre pela manhã e noite. Para acompanhamento do processo de armazenamento, 39 poliedros foram pesados individualmente e em conjunto, Os tonéis foram pesados as massas iniciais sem o líquido, com todos os adereços do tonel e também após a adição da bebida. Após o início do experimento, os tonéis foram pesados a cada 7 dias como forma de acompanhamento do processo, e para acompanhar as mudanças nas características da bebida a partir do 21 dias foram realizadas as coletas para análises de fenólicos totais, cor, as amostras foram identificadas com a inicial do tratamento e o número da coleta.

OBTENÇÃO DA AMOSTRA

Coleta de amostras

Foi utilizada aguardente do mesmo lote, com teor alcoólico de 48,3% (v/v) a 20 °C produzida na Cachaçaria Santíssima, situada no município de Pitangui/MG, no período da safra de 2019.

ANÁLISES FÍSICAS QUÍMICAS

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Bromatologia da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Bahia (UFBA), seguindo as metodologias estabelecidas pela Instrução Normativa nº 13, de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2005). Foram redestilados 250 mL das amostras para os parâmetros de: teor alcoólico, ésteres, acidez volátil, metanol e álcoois superiores. A determinação do extrato seco, cinzas, açúcares totais e acidez total foram realizadas com a amostra sem redestilação. Para análise de cor e outras futuras análises as amostras foram armazenadas em frascos âmbar de 10 mL sob-refrigeração até a realização das primeiras análises. Foram coletadas amostras nos tempos de 0, 40 e 79 dias para realização das análises físico-químicas determinadas pelo MAPA. Para as análises dos parâmetros de cor e compostos fenólicos totais, às coletas foram realizadas semanalmente a partir do vigésimo primeiro dia (21 dias) para acompanhamento do processo de armazenamento.

Análise cromatográfica

As análises de álcoois superiores e metanol foram realizadas no Laboratório de Análises de Qualidade de Aguardentes do Departamento de Química (DQI) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Teor alcoólico

Para determinação da graduação alcoólica, 100 mL da amostra foi destilada utilizando o destilador eletrônico enoquímico, (marca Gibertini, modelo super D.E.E, DensiMat Gibertini). Utilizou-se 65 mL do destilado obtido e realizou-se a leitura da densidade em balança hidrostática eletrônica (Gibertini Elettronica™, modelo Super Alcomat, Itália) juntamente com o teor alcoólico em % v /v.

Acidez total

Foi medido em proveta 100 mL da amostra e transferido para um Erlenmeyer de 500 mL e adicionou-se 3 gotas do indicador fenolftaleína. A amostra com o indicador foi titulada com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 M. Os resultados foram expressos em gramas de ácido acético por 100 mL de amostra.

Acidez volátil

Foi determinada por meio da extração por arraste de vapor dos ácidos voláteis, utilizando um destilador eletrônico Enochimico Gibertini. Foram recolhidos 100 mL do extrato obtido; posteriormente, esses foram titulados com hidróxido de sódio 0,1 M em presença de fenolftaleína 1% como indicador. Os resultados foram expressos em gramas de ácido acético por 100 mL de álcool anidro.

Ésteres totais

Foram determinados por meio da titulação dos ácidos carboxílicos obtidos por transesterificação dos ésteres presentes nas amostras. Foram utilizados 100 mL da amostra destilada. A titulação foi realizada com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 mol/L em presença de fenolftaleína 1% como indicador. A quantidade total dos ésteres foi expressa em gramas de acetato de etila por 100 mL de amostra.

Extrato seco

A análise de extrato seco foi realizada por meio de métodos gravimétricos. Inicialmente, uma cápsula de alumínio previamente pesada em balança analítica (Sartorius, TE214S), com precisão de 0,1 g. Em seguida, uma alíquota de 25 mL da amostra sem redestilar foi transferida para a cápsula e evaporada em banho-maria a 95°C, por 3 horas. Após esse período, foram levadas à estufa a 100°C por 30 minutos e, posteriormente, o material foi resfriado em dessecador. O resíduo sólido remanescente foi pesado em balança analítica, e os resultados obtidos foram expressos em gramas de extrato seco por litro da amostra.

Açúcares totais

Foi determinado o teor de açúcares totais para as amostras após finalizado os 79 dias do experimento. Cinquenta mililitros da amostra foram colocados em béquer e levados ao aquecimento para desalcoolização até um volume de 25 mL, o qual foi

aferido novamente para 50 mL com água ultra pura (Millipore[®]), adicionado de 1,0 mL de ácido clorídrico concentrado e levado a banho-maria a 65-70 °C por 15 minutos. Uma vez invertidos os açúcares da amostra, a mesma, após resfriar-se a temperatura ambiente, foi neutralizada com hidróxido de sódio 5M. A titulação procedeu-se utilizando 20 mL de solução de Soxhlet (10 mL de Fehling A [CuSO₄.5H₂O] + 10 mL de Fehling B [C₄H₄KNaO₆.4H₂O + NaOH]) em 50 mL de água ultra pura (Millipore[®]), na qual se adicionou 10 mL da amostra preparada e titulou-se com solução padrão de glicose anidra P.A. 0,5% em presença de azul de metileno 1%. Os resultados foram expressos em gramas de sacarose por litro da amostra (BRASIL, 2005b).

Contaminantes

A análise dos contaminantes cobre e alumínio foram realizadas no Laboratório de Estudos de Petróleo (LEPETRO) - UFBA. Foi utilizada a técnica de espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (GFAAS) para determinação simultânea de cobre e alumínio nas amostras armazenadas em jaqueira, sem prévia digestão da amostra. A metodologia utilizada foi conforme o Método Oficial AOAC 967.08. (Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica), sendo as leituras realizadas com chama em 324,7 nm.

Análises cromatográficas

Determinação de Álcoois superiores e Metanol

A concentração de metanol e dos álcoois superiores (isoamilico, isobutilico, propanol, 1-butanol e 2-butanol) foram utilizadas alíquotas de amostras redestiladas, foi determinada utilizando a metodologia proposta por Vilela *et al.*, (2007). Foi utilizado um Cromatógrafo a gás (PerkinElmer, Clarus 580) junto de detector de ionização por chama. A fase estacionária e a fase móvel foram, respectivamente, uma coluna DB Wax (30mx0,25mm,0,25µm), e N₂, com fluxo de 1,4 mL/min. A temperatura do injetor e detector foram de 150 °C e 170 °C, respectivamente. Os padrões de pureza analítica foram obtidos da Merck(Alemanha) e as curvas analíticas destes foram preparadas a partir da solução-estoque com concentração igual a 4g/L em etanol 40%.

Cor

Para verificar as alterações de cor da bebida no decorrer dos 79 dias de pesquisa, as cachaças foram analisadas em triplicadas através da aplicação da escala CIElab, onde L^* representa a luminosidade, expressa em porcentagem (de 0 para o preto a 100 para o branco), além disso, as gamas de cor a^* (verde -/vermelho +) e b^* (azul -/amarelo +) foram empregadas para representar as transições do verde ao vermelho e do azul ao amarelo, respectivamente, com valores compreendidos entre -120 e +120. A partir dos valores de L^* , a^* e b^* , foram determinados os valores de: croma métrica (c^*) e o ângulo de tonalidade (h). As análises foram realizadas em colorímetro (Konica Minolta, modelo Chroma meter CR-5, Japão). O aparelho foi ajustado para refletância, incorporando a componente especular, utilizando-se amostra de cachaça branca em cubeta de vidro limpo de 10 mm de caminho ótico.

Compostos fenólicos totais

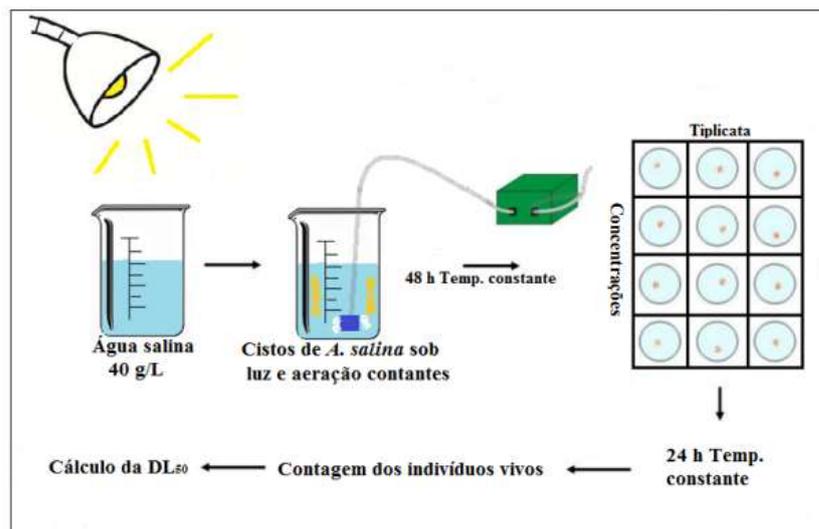
A quantificação dos compostos fenólicos totais (CFT) das amostras foi realizado segundo o método de Folin -Ciocalteu. Este método baseia-se na redução dos ácidos fosfomolídico e fosfotúngstico pelos compostos fenólicos das amostras com desenvolvimento de uma coloração azul em solução alcalina, cuja intensidade aumenta a 760 nm (Singleton, 1995).

Para realizar a análise foi adicionado 2,5 mL de solução de Folin - Ciocalteu a 10% e 2 mL de uma solução de carbonato de sódio a 7,5% e 0,005 μ L e 490 μ l de água destilada em cada amostra contida em tubos de ensaio de 10 mL. Posteriormente foram agitados em agitador de tubos tipo vórtex (Phoenix) por 2 minutos. Após repouso de 2h foi realizada leitura da absorvância de cada amostra no espectrofotômetro (Bel UV-M51 UV-Visível) em comprimento de onda de 760 nm. Sendo o branco uma mistura de água destilada, reagente de Folin-Ciocalteu e carbonato de sódio nas mesmas proporções usadas para as amostras. A quantidade de CFT de cada amostra de cachaça foi quantificada por meio de realização de uma curva padrão preparada com ácido gálico. Para a sua preparação segue-se o mesmo procedimento apenas substituindo a amostra por diferentes concentrações de ácido gálico. Desta forma, os CFT das amostras foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico (GAE) e as análises realizadas em triplicata.

Testes de toxicidade

A determinação de toxicidade foi realizada nos tratamentos em contato com a madeira e amostra branca. Foi realizada na Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás. O ensaio de letalidade em *Artemia salina* Leach foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Meyer (1982). A execução deste teste foi realizada conforme a Figura 1. Os cistos de *Artemia salina* foram colocados para eclodir em uma solução de água e sal marinho à uma concentração de 40 g/L. A solução salina (pH 8-9) foi filtrada, sendo que 1L utilizado para a eclosão dos ovos (100 mg) e o restante utilizado para preparo das diluições das amostras testadas. A eclosão dos ovos ocorreu em temperatura ambiente e sob luz de 100 W por um período de 48h. Após a eclosão dos ovos, os náuplios foram coletados e distribuídos em tubos de ensaio com a adição de 20 μ L das amostras preparadas anteriormente e então completou-se com solução salina até 1 mL. O controle negativo (0 mg/mL) foi preparado utilizando apenas água salina. Todos os testes foram realizados em triplicata. Após o preparo das soluções, 10 náuplios foram coletados com uma micropipeta e transferidos para os tubos nos quais estavam presentes as amostras de cachaça envelhecidas. Os tubos foram deixados em temperatura ambiente por 24 horas, sendo avaliada a quantidade de larvas vivas. O número de larvas vivas após esse período foi utilizado para calcular a taxa de sobrevivência.

Figura 1 - Esquema de preparação e execução do teste de Letalidade em *Artemia salina* Leach



Fonte: Adaptado GARCIA-RODRIGUEZ, 2004.

Vinte e quatro horas após a aplicação dos extratos, o número de exemplares de *Artemia salina* vivos e mortos ou imobilizados, foi contado e a sobrevivência calculada de acordo a equação 1:

$$M(\%) = \frac{\text{Número de organismos vivos} \times 100}{\text{Número total de organismos no tubo (10)}} \quad \text{Eq (1)}$$

Análise estatística

Os resultados experimentais foram avaliados por meio da análise de variância univariada (ANOVA) e para o teste de médias utilizou-se o teste de Tukey para isso utilizou-se os softwares XLSTAT® (versão 2022.4.5, 2023) e o Origin (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperatura e Umidade do ambiente

A coleta de dados de temperatura foi realizada ao longo do experimento e em seguida realizada a média dos valores obtidos. A média da temperatura durante os 79 dias variou entre 27,3 °C para máxima e 24,6 °C para a mínima e 26,8 °C para instantânea (Figura 2A). A temperatura é um ponto importante a ser levado em consideração quando se pretende trabalhar com envelhecimento da cachaça, devido às perdas de volume e redução do teor alcoólico por temperaturas elevadas. A umidade é outro fator determinante no envelhecimento da cachaça, assim como a temperatura acaba exercendo uma influência no produto final. Em baixa umidade a cachaça evapora em uma maior quantidade. Em sala umidificada a proporção que a bebida tende a evaporar é menor em relação a um ambiente sem este controle. A umidade neste experimento foi de 72% para máxima e 52% para mínima e 63% para instantânea (Figura 2B).

As condições climáticas sugeridas para envelhecimento da cachaça são: local fresco e temperatura entre 15°C e 20°C, umidade relativa de 70% a 90%, com arejamento adequado (Guimarães, 2022). Relativamente o experimento ocorreu com temperaturas em torno dos 24 °C.

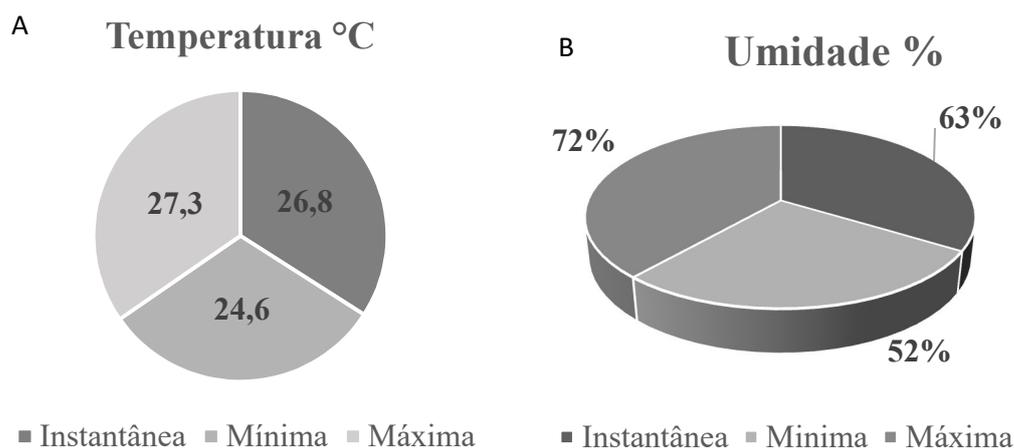


Figura 2 – (A) Médias da temperatura; (B) Médias da umidade durante o experimento

Análises físico-químicas das amostras de cachaça armazenada

A Portaria nº 539 de 26/12/2022 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) no qual estabelece os Padrões de Identidade de Qualidade para cachaça (PIQ's), determina que a aguardente deva conter de 38% a 54% em volume de graduação alcoólica (Brasil, 2022). Devido à redução do volume e perdas no decorrer do envelhecimento a maioria dos produtores envelhecem cachaça com teores alcoólicos elevados

As características físico-químicas das bebidas tratadas após 40 e 79 dias estão descritas nas tabelas 1 e 2. Observa-se que há diferença significativa entre os tratamentos utilizados em função do tempo. Durante o processo de envelhecimento ocorrem reações químicas que geram ácidos e aldeídos aromáticos, cor e provocam a diminuição do teor alcoólico (Castro *et al.*, 2020; Silvello *et al.*, 2021).

Ao longo da etapa de armazenamento observou-se uma redução do teor alcoólico nos tratamentos. Os tratamentos (A) amostra branca sem aeração e (B) sob aeração tiveram redução do teor alcoólico, a aeração favoreceu a evaporação do álcool, o tratamento A (47,00%; 45,50%), seguido do B (46,01%; 43,64%), o mesmo foi observado para o tratamento (E) armazenamento com poliedros de madeira sob aeração em recipiente de inox (43,93%; 41,07%), (C) cachaça armazenada em tonel de madeira (45,00%; 44,00%) e (D) armazenamento com poliedros de madeira sem aeração (46,38%; 43,40%) respectivamente. A redução do teor alcoólico nos primeiros 40 dias variou em média entre 6 e 9% em relação a amostra padrão, entre 40 e 79 dias a variação foi em média de 2% e 6%.

A perda do teor alcoólico pode ocorrer devido a evaporação e absorção da fração álcool pela porosidade da madeira, outro ponto que deve ser levado em consideração e a temperatura e umidade, ambos são fatores importantes para se controlar no envelhecimento da cachaça (Barbosa, 2022).

A densidade não apresentou diferença significativamente nos tratamentos ao longo dos 79 dias. Observou que todos os tratamentos com madeira tiveram um aumento na densidade durante o experimento, porém, para a cachaça branca observa-se uma estabilização da densidade. Estes resultados indicam que a extração dos compostos da madeira pode ter ocorrido em maior intensidade nos primeiros dias de armazenamento. A densidade aumentou significativamente nos tratamentos C em 40 e 79 dias (0,941; 0,943), D (0,940; 0,944), e E (0,943; 0,948) em comparação com amostra padrão (0,937) respectivamente (Tabela 1). Para o tratamento A (0,937; 0,940) e B (0,939; 0,944).

Houve um aumento da acidez total em todos os tratamentos, porém para o tratamento convencional os valores de acidez foram maiores em relação aos tratamentos em inox com poliedros. Os tratamentos com amostra branca mantiveram próxima a amostra branca no decorrer dos 79 dias para a acidez total. Durante a etapa de envelhecimento ocorrem mudanças no perfil químico do destilado, dentre estes a acidez, o seu aumento ocorre através da oxidação do etanol, mudança de pH e pela extração dos compostos presente na madeira (García-Moreno *et al.*, 2021).

A amostra branca e o tratamento (A) (16, 95 mg ácido acético/100 mL de álcool anidro), se mantiveram com os mesmos valores respectivamente para acidez total. Para o tratamento (B) teve aumento (17,90 mg ácido acético/100 mL de álcool anidro). Entretanto, os maiores valores para acidez foi observado nos tratamentos em contato com a madeira. O tratamento (C) aumentou consideravelmente a acidez no decorrer do experimento, com valores (68,62 e 112, 12 mg ácido acético/100 mL de álcool anidro) após 40 e 79 dias, respectivamente. O tratamento (D) com (96,88 e 127, 66 mg ácido acético/100 mL de álcool anidro). O tratamento (E) com (106,97 e 173,59 mg ácido acético/100 mL de álcool anidro), tratamento que teve maior valor para a acidez durante o período de armazenamento.

Segundo Miranda *et al.*, (2008) o aumento da acidez no processo de envelhecimento ocorre através da oxidação do etanol que contribui para a formação do acetaldeído que conduz a formação do ácido acético. Alguns compostos originários da madeira contribuem para esse aumento como os compostos fenólicos, taninos, ácidos

orgânicos não voláteis dentre outros. Estes valores encontrados por Viégas *et al.*, (2014) analisaram cachaça envelhecida em eucalipto e encontrou valores altos para acidez o período de um ano.

As concentrações de acidez volátil variaram significativamente ao longo do processo de envelhecimento (Tabela 1). Os tratamentos com poliedros de madeira observa-se que as concentrações finais de acidez volátil foram maiores do que a cachaça (C) armazenada em tonel de madeira (46,05 mg.100 mL). Os maiores teores médios de acidez volátil foram observados nos tratamentos (E) (46,87 mg/100 mL) e (D) (46,69 mg/100 mL), os menores valores foram encontrados nos tonéis de inox A (32,18 mg.100 mL) e B (39,46 mg.100 mL) (Tabela 2). Todas as amostras apresentaram teores de acidez volátil abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação (150,0 mg.100 mL⁻¹) (Brasil, 2022). Santiago *et al.*, (2014) analisaram alguns tipos de madeira no envelhecimento da cachaça, foram encontrados valores altos para acidez ao longo do experimento.

As concentrações dos ésteres totais estão descritos na Tabela 1. Os tratamentos apresentaram diferenças significativas com relação aos ésteres totais. Ao longo do processo de armazenamento o tratamento (C) armazenamento tradicional em madeira aumentou a concentração de ésteres (41,38 mg.100 mL) ao final do experimento, entretanto ocorreu o inverso aos tratamentos armazenados sob poliedros de madeira, nos primeiros 40 dias o tratamento (D) (54,89 mg.100 mL) e tratamento (E) (52,917 mg.100 mL). No final do experimento ambos tratamentos apresentaram concentrações abaixo do encontrado em 40 dias. Entretanto, independentemente do tipo de tratamento utilizado, os teores de ésteres ficaram dentro do limite máximo estabelecido pela legislação brasileira (200,0 mg.100 mL⁻¹ de etanol) ao término dos 79 dias de armazenamento (Brasil, 2022).

Pelos resultados apresentados na (Tabela 1), foi constatada uma significativa variação na concentração de ésteres ao longo do tempo de armazenamento. Para os tratamentos com poliedros de madeira em tonéis de inox os resultados encontrados vão contra os resultados descritos na literatura. Entretanto, ao acompanhar o processo em tonel de madeira, houve um aumento na concentração de ésteres totais, de modo geral as concentrações nos primeiros 40 dias foram relativamente maiores em comparação há 79 dias.

As concentrações de ésteres totais nos tratamentos armazenados apresentaram diferenças significativas (Tabela 1). A cachaça padrão apresentou concentração média de ésteres totais de (27,40 mg/100 mL álcool anidro). O tratamento (A) se manteve estável durante experimento (27,40 mg/100 mL álcool anidro). O tratamento (B) aerado aumentou a concentração (32,50; 36,40 mg/100 mL álcool anidro). A aeração pode ter influenciado no aumento dos ésteres da amostra branca aerada, ao contrário do tratamento E aerada que reduziu durante o armazenamento em 40 dias (52 mg/100 mL álcool anidro e 31 mg/100 mL álcool anidro em 79 dias), e do tratamento D sem aeração em 40 dias (54 mg/100 mL álcool anidro e em 79 dias, 31 mg/100 mL álcool anidro). No presente experimento o tratamento (C) foi o único que houve aumento deste composto, este dado corrobora com Barbosa *et al.*, (2022), os autores avaliaram teores de ésteres em cachaças envelhecidas em carvalho no período de 12 meses e observou um aumento de ésteres nas quatro amostras envelhecidas. Entretanto, todos os tratamentos tiveram aumento significativos para ésteres totais, todos os tratamentos apresentam teores de esterres abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação (200,0 mg/100 mL álcool anidro) (BRASIL, 2022).

A formação dos ésteres ocorre durante a etapa de fermentação do caldo de cana-de-açúcar, e também durante o processo de envelhecimento, através da esterificação entre os álcoois e ácidos da bebida (Masson *et al.*, 2007). Os ésteres são importantes compostos de aroma, entretanto seu monitoramento é importante, o que restringe a quantificação do teor de acetato de etila, que advém do metabolismo das leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). Devido a ação das leveduras de ácido láctico, faz com que os teores de lactato de etila sejam maiores, alterado a presença dos ésteres (Biagioni *et al.*, 2021).

As concentrações de metanol para os tratamentos controle e os tratamentos com poliedros sem e com aeração ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento. Sendo assim, os tratamentos apresentaram teores de metanol abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação brasileira (20,0 mg.100 mL de etanol) (Brasil, 2022). O metanol é um composto indesejável a bebida, devido a sua toxicidade. Uma bebida contaminada em grande quantidade por este composto pode levar a cegueira (Barbosa *et al.*, 2022).

Mesmo sendo detectados em baixa concentração, os teores de metanol não sofreram variação ao longo do experimento. A amostra branca utilizada no experimento com concentração < 0,19 mg 100 mL etanol e se manteve em todos os tratamentos, não

havendo diferença significativas, sendo assim o composto não apresentou aumento durante o período de armazenamento.

Os álcoois superiores foram analisados separadamente, o isobutilico, isoamilico e n-propilico, a soma destes três compostos são chamados de álcoois superiores onde o limite não deve ultrapassar 360,0 mg.100 mL de álcool anidro (BRASIL,2022). A Instrução Normativa nº 13 de 2005 inclui nos parametros dos Padroes de Identidade e Qualidade da Aguardente, os compostos 1-butanol e 2-butanol (Brasil, 2005). Durante a etapa de envelhecimento os alcoóis superiores assim como os esterres tendem a aumentar, justamente devido a esterificação da madeira com o etanol. Juntamente com os aldeidos os alcoois superiores são responsaveis pela formação do sabor e amora do destilado envelhecido formando o “bouquet” da cachaça (Cardoso, 2020).

A soma dos alcoóis isobutilico, isoamilico e proponal para os tratamentos não ultrapassou o limite (360,0 mg.100 mL de álcool anidro) estabelecido pela Portaria nº539 do MAPA. Os tratamentos apresentarm diferença significativa para as concentrações de alcoóis superiores. As maiores concentrações em 40 e 79 foram encontradas para o tratamento E (28,11;26,74 mg.100 mL) seguido do tratamento D (25,00; 25,74 mg.100 mL) e C (24,72; 21,67 mg.100 mL) em relação a amostra branca (23,93 mg.100 mL). O 1-butanol <0,36 e 2-butanol <0,48 ficaram abaixo do limite de quantificação para todos os tratamentos e a amostra padrão. De acordo com Cardoso (2020) os alcoóis superiores são formados desde o corte da cana quando ocorre a estocagem, podem ser formados tambem atraves de reações com os esterres na etapa de fermentação. Em baixas quantidades são essenciais para o perfil aromatico do destilado, porém em excesso pode ressaltar em uma bebida enjoativa e viscosa.

Para o teor de cobre os tratamentos apresentaram diferença significativa entre si. A amostra branca com concentração de 1,1 mg/L (Tabela 1). Nos primeiros 40 dias o teor de cobre para o tratamento (A) se manteve estavel, e após este período aumentou (1,11; 1,23 mg/L), para o tratamento (B) ocorreu pequena variação da concentração (1,20; 1,23 mg/L). Em relação aos tratamentos em contato com a madeira o teor de cobre da cachaça diminuiu durante o período de armazenamento. As menores concentrações foram encontradas para o armazenamento convencional C (0,62; 0,53 mg/L), segudio do tratamento em inox com poliedros D (0,73; 0,63 mg/L) e E (0,71; 0,65 mg/L) respectivamente.

O armazenamento da cachaça em inox contribuiu para o aumento da concentração de cobre. Entretanto, o armazenamento em recipientes em contato com a madeira, o composto diminuiu. A madeira pode ter adsorvido o cobre. Ambos os tratamentos apresentaram concentrações abaixo do limite permitido pela legislação brasileira que é $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Santiago *et al.*, (2012) relataram a possibilidade de interação dos íons de cobre com compostos presentes na madeira, resultado em um processo de absorção do composto pela madeira durante o envelhecimento.

Devido a cachaça ser armazenada em recipiente de inox, foi realizado a determinação de alumínio. Não há estudos na literatura sobre este composto na bebida. Todos os tratamentos, inclusive o padrão ficaram abaixo do limite de quantificação $<0,20 \text{ mg/L}$. A utilização de inox como recipiente de armazenamento da cachaça se mostrou viável em contribuir para as características da bebida.

A concentração de extrato seco está relacionada com o tempo de armazenamento da bebida. De acordo com os resultados os teores de extrato seco variaram significativamente durante o experimento entre os tratamentos C, D e E (Tabela 1). Entretanto todas as amostras armazenadas em madeira apresentaram teores de extrato seco acima do limite máximo permitido pela legislação (6 g/L) (BRASIL, 2022).

Os teores de extrato seco foram acima do limite permitido pela legislação, os valores encontrados são referentes as coletas dos tempos 40 e 79 dias. Não foi realizado nenhum tratamento prévio da amostra, ou seja, basicamente o extrato bruto com extrativos da madeira bastante concentrado. O tratamento C apresentou teores médios de $5,48 \text{ g/L}$ em 40 dias, e $7,44 \text{ g/L}$ em 79 dias. Maiores valores de extrato seco foram encontrados para o tratamento (E) $9,07 \text{ g/L}$ em 40 dias, e $10,81 \text{ g/L}$ em 79 dias e o tratamento (D) $8,4 \text{ g/L}$ em 40 dias, e $9,78 \text{ g/L}$ em 79. Santiago *et al.*, (2014) encontraram valores de de $0,066$ a $0,193 \text{ g/L}$ e de $0,308$ a $1,226 \text{ g/L}$ nas cachaças envelhecidas em tonéis de carvalho e amburana por 12 meses.

Foi determinado o teor de cinzas nos tratamentos em contato com a madeira devido ser matéria orgânica do processo de armazenamento. De acordo com os resultados os teores de cinzas foram maiores para o tratamento (D) com poliedros de madeira, apresentando valores de $0,21 \text{ g/L}$ em 40 dias para $0,20 \text{ g/L}$ em 79 dias, seguido do tratamento convencional (C) $0,18$ em 40 dias, e $0,19 \text{ g/L}$ em 79 dias, e (E) sob aeração $0,12 \text{ g/L}$ em 40 dias $0,19 \text{ g/L}$ em 79 dias. A Portaria n° 539 de 2022 não estabelece limites mínimos e máximos para o teor de cinzas deste produto.

A determinação de açúcares totais foi realizada somente no final do experimento para as amostras em contato com a madeira. Os tratamentos apresentaram diferença significativa para a concentração de açúcares totais. Houve aumento da concentração de açúcares total em comparação com a amostra padrão (0,17 g/L). O tratamento (C) teve uma concentração de açúcares totais 0,36 g/L abaixo dos tratamentos (D) com poliedros sem aeração 0,58 g/L e (E) com poliedros aerados 0,60 g/L. O uso de poliedros de madeira juntamente com a aeração contribuíram para o aumento da concentração de açúcares totais. O aumento dos teores de é devido à quebra das macromoléculas da madeira (hemicelulose, celulose e lignina), são originado os açúcares de baixo peso molecular que são responsáveis pelo aroma e sabor característico de bebida envelhecida (Zacaroni *et al.*, 2014).

Os parâmetros de cor das amostras de cachaça armazenada mostram que os tratamentos D e E apresentaram os menores valores de L* (luminosidade) no decorrer do experimento, sendo então consideradas as mais escuras, enquanto o tratamento C foi o mais claro com maior valor para luminosidade. A amostra branca apresentou valor médio (99,99) sendo considerado um alto índice de luminosidade, demonstrando ser uma bebida límpida, sem turbidez e sem ter contato com a madeira. Ao longo dos 79 dias a cachaça foi diminuindo a média de luminosidade, ficando mais escuras e turvas.

O ângulo da tonalidade (h) no qual permite distinguir a coordenada a* (verde – /vermelho +) da b* (azul –/amarelo +), apresentou médias ao longo do experimento tendendo aos ângulos b* (amarelo +) e a* (vermelho +), evidenciando que a bebida armazenada em jaqueira tem uma coloração mais amarelada contrastando com o vermelho.

Com relação ao valor de croma (C*) dos tratamentos houve variação ao longo do experimento, observa-se que para os tratamentos C e E tiveram aumento na intensidade do croma, para o tratamento D o croma variou ao longo do período de armazenamento, apresentando uma oscilação nas médias. Segundo Tamayo-Sanchez *et al.*, (2023) utilizando poliedros de madeira é possível obter uma bebida com coloração amarela em curto prazo de tempo, com características de bebida envelhecida e extras envelhecidas em 4 semanas.

O tipo de tratamento influenciou na composição fenólica da cachaça ao longo dos 79 dias de experimento. O teor de compostos fenólicos final foi maior para o tratamento

(E) seguido do tratamento (D) e (C). Os menores valores foram encontrados para a cachaça armazenada em tonel de madeira (Figura 3).

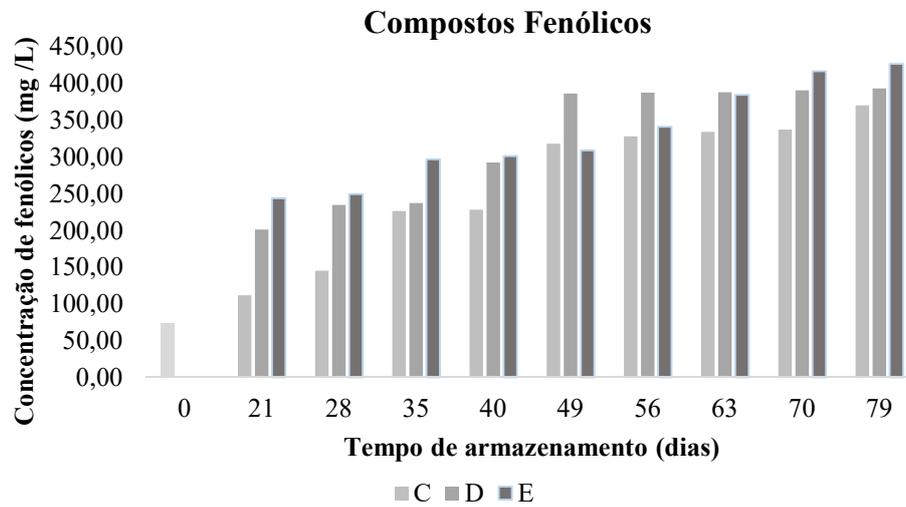


Figura 3 – Evolução da concentração dos fenólicos totais de cachaça armazenada em tonel e poliedros de madeira jaqueira.

C= cachaça armazenada em tonel de madeira; D= cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros; E=cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros sob aeração. Tempo 0 refere-se a amostra branca.

Para a análise de CFT as amostras diferiram entre si, a concentração de fenólicos totais variou entre 73 e 440 mg/L. O teor de CFT ao final do período de armazenamento foi maior para o tratamento E (426,83 mg/L) seguido do D (393,23 mg/L) e C (370,27 mg/L). Os tratamentos D e E proporcionaram uma rápida evolução da composição fenólica quando comparado com o tratamento C (Tabela 3). A extração dos CFT com poliedros de madeira foi maior em relação ao tratamento convencional. O tratamento E apresentou resultados próximos ao tratamento C. Pode-se dizer que houve influência da superfície específica da madeira combinada com a aeração. Segundo De Almeida e Mendes (2023) objetos pequenos tem a superfície específica maior, pois aumenta o volume à medida que um objeto aumenta de tamanho.

Mudanças significativas puderam ser observadas ao comparar os primeiros 20 dias de cada tratamento, nota-se que os tratamentos que tiveram contato com os poliedros de madeira tiveram uma concentração de fenólicos totais maior que o tratamento em barril. Ao longo dos 79 dias de experimento a cachaça armazenada em tonel de madeira extraiu menos do que a cachaça armazenada em poliedros. Correia *et al.*, (2023) ao analisar amostras de vinhos armazenados em poliedros de madeira sem nenhum tratamento, encontrou resultados semelhantes, segundo o autor há uma transferência evidente de moléculas para o vinho.

Ao comparar os tratamentos (D) poliedros de madeira sem aeração e (E) poliedros de madeira, sob aeração, observou-se que a aeração influenciou no aumento dos compostos fenólicos. A micro-oxigenação é bastante utilizada na produção de vinhos, com relação à cachaça é escasso na literatura dados referentes sobre a sua utilização. Baiano *et al.*, (2016) observou que a micro-oxigenação influencia na estrutura dos compostos ao longo do processo de envelhecimento de vinhos.

Os valores encontrados neste estudo da composição fenólica variaram entre 111, 82 a 370,27 mg/L para o tratamento (C), 201,37 a 393,28 mg/L para o tratamento (D) e 243,75 a 426,83 mg/L para o tratamento (E), valores maiores em relação aos encontrados na literatura para outras madeiras analisadas para o envelhecimento tradicional. Castro *et al.*, (2020) encontrou em média 153 mg/L para cachaça armazenada em carvalho. Silva *et al.*, (2020) avaliou três madeira brasileiras (jatobá -277,3 mg/L; ipê -67,6 mg/L e

sassafrás - 83,8 mg/L). Para o processo de envelhecimento deve-se levar em consideração a espécie da madeira, o tipo de madeira, tamanho e principalmente as características geográficas de onde a madeira foi retirada, isso tudo pode influenciar no produto final.

A análise multivariada foi realizada para verificar o agrupamento das diferentes variáveis em relação a compostos fenólicos e cor ao processo de armazenamento da cachaça. Na Análise de componentes principais (ACP) Figura (3A), para o tratamento (C) verificou que as variáveis explicaram 92, 27% para o tratamento. Nota-se uma separação da amostra Branca e C-4 para as demais amostras e uma de grupos. É possível observar um agrupamento das amostras com maior tempo de contato com a madeira em relação aos compostos fenólicos (Figura 3A).

Num primeiro grupo (constituído pelas amostras: C-5, C-6, C-7, C-8 e C-9) estão representadas as amostras com maior tempo de contato com a madeira e com elevado teor de compostos fenólicos. Observa-se uma correlação negativa entre os compostos fenólicos totais e o parâmetro de cor a^* . Pode-se dizer que os fenólicos totais se correlacionam positivamente com amostras com tonalidade mais clara. Os parâmetros C^* e b^* (representadas na região negativa da primeira dimensão e na região positiva da segunda dimensão) não se correlacionam com as amostras.

No gráfico da ACP, amostras próximas representam amostras que possuem perfis similares, enquanto amostras que ocupam regiões opostas no gráfico representam amostras bastante distintos entre si com relação a seus perfis. O parâmetro h (tonalidade) possui uma correlação positiva com as coletas iniciais (C-1, C-2 e C-3).

A Figura (3B) está representado o gráfico de ACP para o tratamento com poliedros armazenados em inox, mostra os eixos 1 e 2 representando 99,42% da variação total para as análises fenólicas e colorimétricas. As amostras D-5, D-6, D-7, D-8 e D-9 (representadas na região negativa da primeira dimensão e na região positiva da segunda dimensão) são caracterizadas por maior tempo de contato com os poliedros de madeira, com elevado teor de compostos fenólicos totais, correlacionam positivamente com o parâmetro a^* . As amostras D-2, D-3 e D-4 (representadas maioritariamente nas regiões negativas de ambas as componentes principais) correlacionam negativamente com os parâmetros C e b^* . Foram observados uma inclinação positiva a^* em relação a coordenada b^* , ou seja, valores próximos a pigmentação vermelha, pode-se dizer que a cachaça assume uma cor mais avermelhada ao longo do processo de envelhecimento. O tratamento D-1 e amostra Branca se correlacionam positivamente com o ângulo de

tonalidade (h) no qual permite distinguir a coordenada a* (verde -/vermelho +) da b* (azul -/amarelo +), e com a Luminosidade (L)

Na figura (3C) está apresentada a ACP para o tratamento E com poliedros de madeira sob aeração. Observa-se que a variabilidade de características parece ser maior nas amostras com maiores tempos de contato com a madeira. As principais variáveis que pesaram na separação do componente principal, foram coordenada a* (verde -/vermelho +). Os fenólicos totais foi uma variável que teve uma correlação negativa com a coordenada a* (verde -/vermelho +), os tratamentos E-5, E-6, E-7, E-8 e E-9. Diferente do tratamento anterior, a aeração pode ter influenciado para essa interação. As amostras E-3 e E-4 correlacionaram com os parâmetros b* e (c). As amostras E-1 e E-2 e amostra branca se correlacionam positivamente com o ângulo de tonalidade (h) no qual permite distinguir a coordenada a* (verde -/vermelho +) da b* (azul -/amarelo +), e com a Luminosidade (L).

Com relação a ACP, os tratamentos C e E possuem uma significativa proximidade entre os resultados de acordo as figuras 2 e 4. Pode-se indicar uma boa reprodutibilidade dos parâmetros analisados.

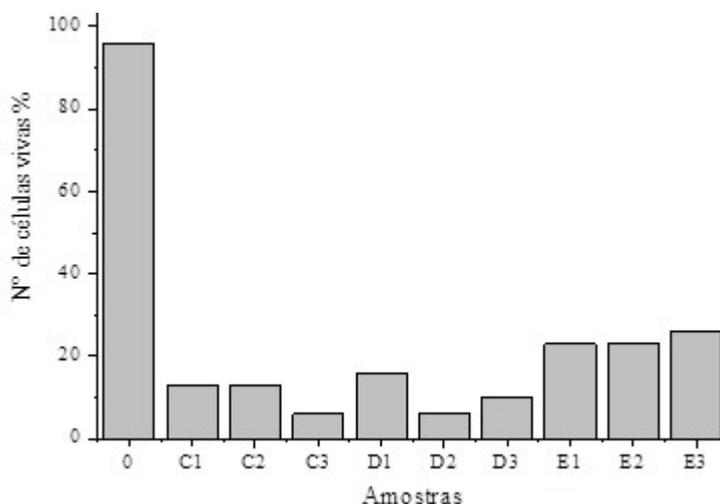
Teste de toxicidade

Ao final do experimento foi determinado a toxicidade nas amostras armazenadas em jaqueira, devido à escassez de estudos sobre o uso da madeira no processo de armazenamento da cachaça (Figura 4). Utilizou-se o teste de letalidade em *A. Sallina* para avaliar a citotoxicidade da amostra de cachaça armazenada em madeira jaqueira. O ensaio mostrou que as amostras armazenadas em madeira apresentaram atividade tóxica. A taxa de sobrevivência abaixo de 50%, ou seja, as amostras analisadas apresentaram efeito tóxico para a *A. Sallinas*.

O armazenamento em tonel de madeira (C) teve uma taxa de sobrevivência em torno de 13%, enquanto o tratamento (D) armazenado em inox com cubos de madeira teve 17% seguido do tratamento (E) com 20%. De acordo com os resultados, pode inferir que o efeito tóxico nas amostras foi extraído da madeira, uma vez que a amostra branca apresentou em média 96% de células vivas.

Barbosa (2016) analisou o extrato foliar da espécie *A. heterophyllus*, foi encontrado valores altos para toxicidade A variação entre os resultados foi de 2,5% (no controle) a 100% no tratamento com 30% do extrato (volume/volume). Segundo o mesmo

autor, existe uma grande relevância estudo para os cuidados em monitoramento de animais. Outro ponto relevante é que o alto nível de toxicidade possa indicar presença de metabólitos de interesse para estudos de uso potencial diversos, como: inseticidas, antifúngico, anti- virais, bactericida e até mesmo anti-tumorais



0 – amostra branca; C1, C2, C3= Armazenamento convencional em tonel de madeira; D1, D2, D3= Armazenamento em tonel de inox com poliedros; E1, E2, E3= Armazenamento em tonel de inox com poliedros, sob aeração.

Figura 4 – % de toxicidade das amostras armazenadas em jaqueira.

CONCLUSÃO

O armazenamento da aguardente em tonel de madeira jaqueira e em inox com poliedros de madeira alterou significativamente a composição química da bebida. Os tratamentos apresentaram valores dentro dos padrões de identidade e qualidade estabelecidos pela legislação. Entretanto, apresentou valores altos para extrato seco. O processo de armazenamento da cachaça em madeira de jaqueira contribuiu para o aumento dos compostos fenólicos, cor e extrato seco. Os tratamentos D- em inox com poliedros e E - inox com poliedros de madeira com aeração favoreceu o aumento dos teores de fenólicos totais em relação ao tratamento C em tonel de madeira.

A aeração juntamente com os poliedros de madeira favoreceu o aumento da acidez e a diminuição do teor alcoólico e esteres totais. Porém, para a cachaça branca aerada houve aumento dos esteres totais. O uso de poliedros com aeração pode ser uma técnica viável, porém é necessário avaliar a quantidade de O₂ adicionado ao meio.

O uso de poliedros de madeira é uma tecnologia viável para o processo de armazenamento da cachaça. Características semelhantes à bebida armazenada em tonel de madeira puderam ser observadas nos tratamentos com poliedros de madeira em tonel de inox com sem aeração. Vale ressaltar que são estudos preliminares, no futuro serão realizados novos estudos utilizando poliedros de outras espécies de madeira. Entretanto, já se pode vislumbrar uma efetiva transferência de conhecimentos capaz de gerar importantes inovações na cadeia produtiva da cachaça brasileira.

REFERÊNCIAS

- Baiano, A.; De Gianni, A.; Mentana, A.; Quinto, M.; Centoze, D.; Nobile, M. A. D. 2016. Colour related phenolics, volatile composition, and sensory profile of Nero di Troia wines treated with oak chips or by micro-oxygenation. **European Food Research and Technology** 242, 1631–1646. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2662-8>
- Barbosa, R. B.; Santiago, W. D.; Alvarenga, G. F.; Oliveira, R. E. S.; Ferreira, V. R. F.; Nelson, D. L.; Cardoso, M. G. 2022. Physical–Chemical Profile and Quantification of Phenolic Compounds and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Cachaça Samples Aged in Oak (*Quercus* sp.) Barrels with Different Heat Treatments. **Food Bioprocess Technology** 15, 1977–1987. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02853->
- Bertolino, M. T. 2023. Cachaça boa é a cachaça segura. **Food safety Brazil**), 1 jun.. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/cachaca-boa-e-a-cachaca-segura/> Acesso em: 10 set. 2023.
- Biagioni M. A. 2021. Papel da madeira no envelhecimento da cachaça. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, 2(8), e28682. <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i8.682>
- Bortoletto, A. M., and Alcarde, A. R. (2013) Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods, **Food Chemistry**, 139, 695-701.
- Bortoletto, A. M.; Correa, A. C.; Alcarde, A. R (2016). Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça. **Food Research International**, 86 , 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.05.003>
- Bortoletto, A. M. 2021. **O uso das madeiras brasileiras artigo 3**. INOVBEV. Disponível em: <https://www.inovbev.com/post/o-uso-das-madeiras-brasileiras>. Acesso em: 20, ago. 2023.
- Brasil. 2005. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução normativa nº 13, de 29 de junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e para Cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, 30 jun. 2005. Seção 1, n. 124.
- Brasil. 2005b. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Aprovação do Manual Operacional de Bebidas e Vinagres. Instrução normativa n.24, de 08 de setembro de 2005b. [Aprova o Manual Operacional de Bebidas e Vinagres. Instrução

Normativa nº 24, de 8 de setembro de 2005b]. Diário Oficial da União, 30 de setembro de 2005b.

Brasil. 2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Portaria nº 539, de 26 de dezembro de 2022. Aprova a nova Portaria para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e Cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, 26 dez. 2022. Seção 1, n, 243.

Caldeira, I.; Vitória, C.; Anjos, O.; Fernandes, T.A.; Gallardo, E.; Fargeton, L.; Boissier, B.; Catarino, S.; Canas, S. (2021). Wine Spirit Ageing with Chestnut Staves under Different Micro-Oxygenation Strategies: Effects on the Volatile Compounds and Sensory Profile. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 3991. <https://doi.org/10.3390/app11093991>

Canas, S.; Caldeira, I.; Anjos, O.; Belchior, A. P. 2019 Phenolic profile and colour acquired by the wine spirit in the beginning of ageing: Alternative technology using micro-oxygenation vs traditional technology. *LWT*, *111*, 260–269. <https://doi:10.1016/j.lwt.2019.05.018>

Canas, S.; Anjos, O.; Caldeira, I.; Fernandes, T.A.; Santos, N.; Lourenço, S.; Catarino, S. (2022). Micro-oxygenation level as a key to explain the variation in the colour and chemical composition of wine spirits aged with chestnut wood staves. *LWT*, *154*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112658>

Cardoso, M. G. 2006. Análise físico-química de aguardente. In: CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana**. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA. p. 203-232. 2006.

Cardoso, M. G. 2020. **Produção de aguardente de cana** (5ª ed.). Lavras, UFLA.

Castro, M. C.; Bortoletto, A. M.; Silvello, G. C.; Alcarde, A. R. Lignin-derived phenolic compounds in cachaça aged in new barrels made from two oak species. 2020. *Heliyon*. *6*(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05586>

Castro, M. C.; Silvello, G. C.; Corniani, L. S.; Acevedo, M. S. M. S. F.; Pereira, A. de A. M.; Alcarde, A. R. 2023. Maturation-related phenolic compounds in cachaça aged in oak barrels: influence of reuse. *Wood Science and Technology*, 781–795. <https://doi.org/10.1007/s00226-023-0147>

Correia, A. C.; Miljić, U.; Jordão, A. M. 2023. Storage of a white wine with different untoasted wood species: impact on the chemical composition and sensory characteristics. *Eur Food Res Technol*. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04324-8>

Almeida, R. O.; Mendes, B. A. 2023. O envelhecimento de cachaça como questão sociocientífica: a importância do conceito de superfície específica. *Indagatio Didactica*, v. 15, n. 1, p. 353-368.

Del Alamo-Sanza, M.; Nevares, I. 2014. Recent Advances in the Evaluation of the Oxygen Transfer Rate in Oak Barrels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(35), 8892–8899. <https://doi.org/10.1021/jf502333d>

Fernandes, D. 2017. Pé de Jacá dá cachaça. E BOA! Conheça duas cachaças em jaqueira. Devotos da cachaça. Disponível em: <https://xn--devotosdacachaa-rmb.com.br/2017/07/19/cachaca-emjaqueira/cachaca-em-jaqueira-2/> Acesso em: 07 jun. 2023.

- Rodriguez, G. A.; Teixeira, O. M.; Salles, F. G.; Vital, J. P.; Peixoto, D. S. 2009. Toxicidade por *Microcystis* sp. em Goiás: Estudo dos efeitos tóxicos em camundongos e *Artemias* salinas. *Estudos, Goiânia*, v. 31, n. 9, p. 1595-1606.
- García-Moreno, M. V.; Sánchez-Guillén, M. M.; Delgado-González, M. J.; Durán-Guerrero, E.; Rodríguez-Dodero, M. C.; García-Barroso, C.; Guillén-Sánchez, D. A. 2021. Chemical content and sensory changes of Oloroso Sherry wine when aged with four different wood types. *LWT*, 140, 110706. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110706>
- Gupta, R.; Gupta, S. K.; Gehlot, C. L.; Bahadur, I. 2023. Chemically modified jackfruit leaves as a low-cost agro-waste adsorbent for Pb (II) removal from synthetic wastewater. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10, 100-292. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100292>
- Goulart, S. L.; Mori, F. A.; Ribeiro, A. O.; Couto, A. M.; Arantes, M. D. C.; Mendes, L. M. 2012. Análises químicas e da densidade básica da madeira de raiz, fuste e galho de barbatimão [(*Stryphnodendron adstringens*) Coville] de bioma Cerrado. *Revista cerne*, Lavras, v. 18, n. 1, p. 59-66.
- GUIMARÃES, D. 2022. **Por que envelhecer a cachaça em tonel de madeira?**. Disponível em: <https://www.industriarural.com.br/cachaca/por-que-envelhecer-a-cachaca-em-tonel-de-madeira>. Acesso em: 12 out. 2023.
- Granja-Soares, J.; Roque, R.; Cabrita, M. J.; Anjos, O.; Belchior, A. P.; Caldeira, I.; Canas, S. 2020. Effect of innovative technology using staves and micro-oxygenation on the odorant and sensory profile of aged wine spirit. *Food chem.*, 333 . <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127450>
- Januzzi, P. 2018. Madeiras utilizadas no envelhecimento da Cachaça. Disponível em: <https://www.mapadacachaca.com.br/artigos/madeiras-para-envelhecimento-da-cachaca/>. Acesso em 19 jun.2023.
- Masson, J.; Cardoso, M. D. G; Vilela, F. J.; Pimentel, F. A.; Morais, A. R. D.; Anjos, J. P. D. 2007. Parâmetros físico-químicos e cromatográficos em aguardentes de cana queimada e não queimada. *Ciência e Agrotecnologia*, 31 (6), 1805–1810.
- Meyer, B. N.; Ferrigni, N. R.; Putnam, J. E.; Jacobsen, L. B.; Nichols, D. E.; McLaughlin, J. L. 1982. Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta Med.* 45(5): 31-34. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971236>
- Miranda, M. B. de; Martins, N. G. S.; Belluco, A. E. de S.; Horii, J.; & Alcarde, A. R. 2008. *Perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 84–89. doi:10.1590/s0101-20612008000500014.
- Miranda, M. B.; Horii, J.; Alcarde, A. R. 2006. Estudo do efeito da irradiação gamma (60CO) na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 4, p. 772- 778.
- Santiago, W. D.; Cardoso, M. G.; Zacaroni, L. M.; Anjos, J. P.; Machado, A. M. R.; Mendonça, J. G. P. 2012. Perfil físico-químico e quantificação de compostos fenólicos e acroleína em aguardentes de cana-de-açúcar armazenadas em tonéis de diferentes madeiras, *Científica Jaboticabal*, v. 40, n. 2, p. 189-197.

Santiago, W. D.; Cardoso, M. das Graças.; de Andrade, Santiago, J.; Rodrigues, L. M. A.; da Silva, B. L.; Caetano, A. R. S (2014). Comparação do perfil físico-químico de cachaças envelhecidas em tonéis de carvalho (*Quercus sp*) e amburana (*Amburana cearensis*). *E-xacta* , 7 (2), 17–29. <https://doi.org/10.18674/exacta.v7i2.1260>

Stegăruș, D. I.; Călugăr, A.; Tanase, C.; Muscă, A.; Botoran, O. R.; Manolache, M.; Coldea, T. E. 2021. Influence of oak chips and oak barrel ageing on volatile profile in Chardonnay wine of Romania." *Applied Sciences.*, 11 , 3691. <https://doi.org/10.3390/app11083691>

Silva, F. A.; Morais, K. C. R. C.; Ribeiro, K. O.; Garcia, L. G. C.; Caliari, M. 2020. Evolução do teor de compostos fenólicos, atividade antioxidante e cor em cachaça orgânica envelhecida em tonéis de diferentes madeiras. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 9, n. 5,. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3302>. Acesso em: 5 ago. 2023. [https://doi: 10.33448/rsd-v9i5.3302](https://doi:10.33448/rsd-v9i5.3302)

Silvello, G. C.; Bortoletto, A. M.; de Castro, M. C.; Alcarde, A. R. 2021. New approach for barrel-aged distillates classification based on maturation level and machine learning: A study of cachaça. *LWT*, 140, 110836. <https://doi:10.1016/j.lwt.2020.110836>

Singleton, V. L. 1995. Maturation of wines and spirits: comparison, facts and hypotheses. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 46, n. 1, p. 98-115.

Tamayo-Sánchez, J. C.; Meza-González, D. A.; Warren-Vega, W. M.; Zárata-Guzmán, A. I.; Romero-Cano, L. A. 2023. Advances in the development of tailor-made color alcoholic beverages based on an accelerated maturation process. **Food Research International** , 169 . <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112859>

Tonini, M.; Pacheco, F. P. 2014. Perspectivas da produção de cachaça no Brasil. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.193-201.

Viégas, E. K. D.; Cruz, S. H.; Lima, U. A.; Alcarde, A. R. 2014. Avaliação físico-química e sensorial de cachaça envelhecida em barris de eucalipto. p. 2934-2941 . In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v.1, n.2]. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2359-1757, <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0004-27674-152330>

Vilela, F. J.; Cardoso, M. G.; Masson, J.; Anjos, J. P.. 2007. Determination of the physical-chemical composition of homemade cachaças produced in the South of Minas Gerais and their mixtures. **Ciência e Agrotecnologia**, 31, 1089–1094. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400022>

Zacaroni, L. M.; Cardoso, M. G.; Santiago, W. D.; Mendonça, J. G. P.; NUNES, C. A.; Duarte, F. C. 2014. Avaliação multivariada de composição fenólica de cachaças envelhecidas em diferentes barris de madeira. *Científica, Jaboticabal*, v.42, n.2, p.101-107.

CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR (CREDIT)

Autor 1: Realizou o experimento, conceituação, metodologia, redação (rascunho original), analisou e interpretou os dados e escreveu o artigo

Autor 2: Aluno de iniciação científica vinculado ao projeto, auxílio em análises e tabulação dos dados.

Autor 3: Aluno de iniciação científica vinculado ao projeto, auxílio em análises e tabulação dos dados

Autor 4: Técnica do Laboratório, auxílio nas análises de bancada, interpretação dos resultados.

Autor 5: Co-orientador do projeto, concebeu e desenhou o projeto, montagem do experimento, interpretação dos dados.

Autor 6: Orientadora do projeto, reagentes, materiais de análises e forneceu espaço para realização das análises.

RECONHECIMENTOS

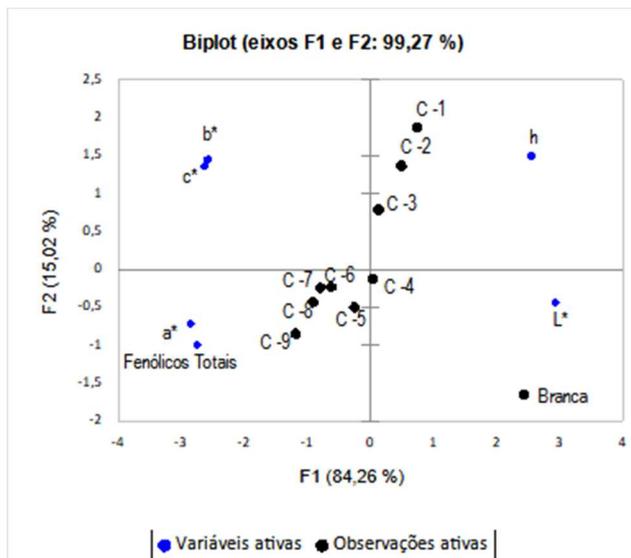
Este trabalho foi financiado pela cachaçaria Santíssima Industria Ltda. Situada em MG; Alambiques Santa Efigênia -Itaverava -MG; Dornas Havana -MG e Associação dos Produtores de Cachaça de Alambique -ANPAQ.

A agência de Fomento CAPES - Subsidio para bolsa de mestrado.

Ao Laboratório de Bromatologia da Faculdade de Farmácia - UFBA; onde foram realizadas as análises físico-químicas.

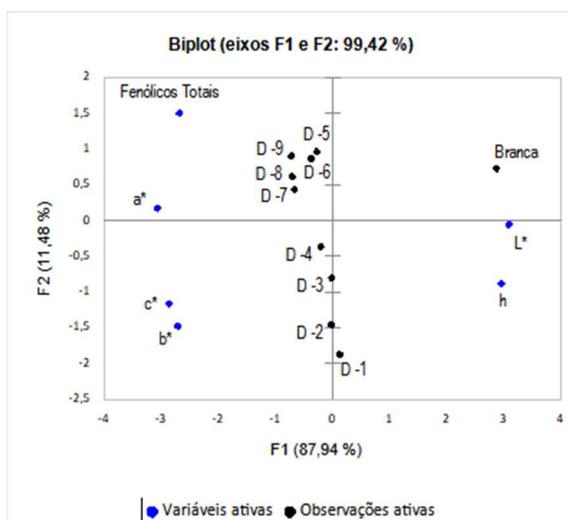
Ao Laboratório de Qualidade de Aguardente do Departamento de química da UFLA pela realização das análises cromatográficas.

Figuras 3A - Representação gráfica da Análise de Componente Principal dos Parâmetros analisados nas amostras de cachaça armazenada em tonel de madeira.



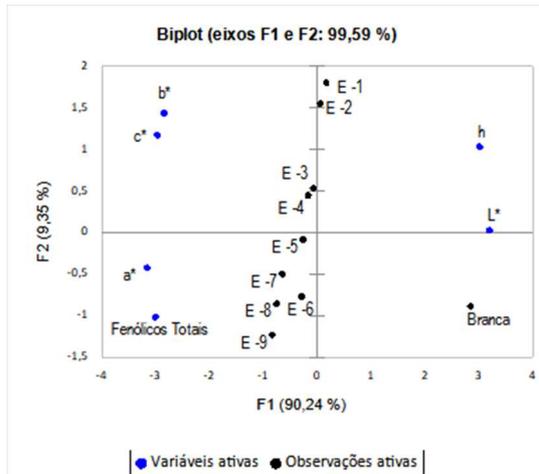
Análises de ACP para cor e CFT para o tratamento C: cachaça armazenada em tonel de madeira a partir do 21º dia até 79 dias (C1- a C9).

Figura 3B - Representação gráfica da Análise de Componente Principal dos Parâmetros analisados nas amostras de cachaça armazenada em inox com poliedros sem aeração.



Análises ACP para cor e CFT para tratamento D: cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros de madeira sem aeração a partir do 21º dia até 79 dias (D1- a D9).

Figura 3C - Representação gráfica da Análise de Componente Principal dos Parâmetros analisados nas amostras de cachaça armazenada em inox com poliedros com aeração.



Análises ACP para cor e CFT para tratamento E: cachaça armazenada em inox com poliedros de madeira com aeração a partir do 21º dia até 79 dias (E1- a E9).

Tabela 1 - Característica físico-química da cachaça armazenada em jaqueira

Parâmetros	Amostras						
	Padrão	C40	D40	E 40	C79	D79	E79
Grau alcoólico (%vol.)	48,30 ^a	45,32 ± 0,12 ^{bcd}	46,38 ± 0,11 ^b	43,93 ± 0,31 ^{cde}	44,00 ± 0,22 ^{cde}	43,40 ± 0,29 ^c	41,07 ± 0,64 ^f
Densidade relativa a 20 °C	0,937 ^d	0,941 ^c	0,940 ^c	0,943 ^b	0,943 ^b	0,944 ^b	0,948 ^a
Acidez Total, em ac. acético.	16,95 ± 0,00 ^d	68,62 ± 3,50 ^c	96,88 ± 6,06 ^{bc}	106,97 ± 3,50 ^b	112,12 ± 11,70 ^b	127,66 ± 12,82 ^b	173,59 ± 8,11 ^a
Acidez Volátil, em ac. acético.	32,38 ± 1,81 ^{ef}	42,31 ± 1,65 ^{abc}	43,26 ± 0,11 ^{ab}	35,60 ± 1,94 ^{def}	46,05 ± 2,01 ^a	46,69 ± 2,24 ^a	46,87 ± 2,34 ^a
Ésteres totais	27,40 ± 1,51 ^c	39,34 ± 2,20 ^{bc}	54,89 ± 1,90 ^a	52,91 ± 2,35 ^a	41,38 ± 0,61 ^b	31,24 ± 2,46 ^{dc}	31,70 ± 5,95 ^{dc}
Extrato seco (g/L)	0,05 ± 0,00 ^c	5,48 ± 0,99 ^d	8,40 ± 0,68 ^{bc}	9,07 ± 0,12 ^{bc}	7,44 ± 0,95 ^c	9,78 ± 0,87 ^{ab}	10,81 ± 0,13 ^a
Cinzas (g/L)	ND	0,18 ± 0,03 ^a	0,21 ± 0,11 ^a	0,12 ± 0,03 ^a	0,19 ± 0,03 ^a	0,20 ± 0,04 ^a	0,19 ± 0,02 ^a
Açúcares totais (g.L ⁻¹)	0,17 ± 0,0 ^d	NA	NA	NA	0,36 ± 0,078 ^b	0,58 ± 0,029 ^a	0,60 ± 0,022 ^a
Álcool isobutilico (mg/100 mL álcool anidro) *	5,67 ^a	4,53 ± 0,15 ^{bc}	4,56 ± 0,61 ^{bc}	5,02 ± 0,25 ^{ab}	4,14 ± 0,16 ^{bc}	4,60 ± 0,38 ^{bc}	4,78 ± 0,47 ^{ab}
Álcool isoamilico (mg/100 mL álcool anidro) *	9,34 ^{ab}	9,25 ± 0,26 ^{ab}	9,54 ± 1,57 ^{ab}	10,83 ± 0,66 ^a	7,64 ± 0,91 ^b	10,18 ± 0,72 ^{ab}	10,22 ± 1,52 ^{ab}
Propanol (mg/100 mL álcool anidro) *	8,92 ^c	10,93 ± 0,50 ^{abc}	10,90 ± 1,30 ^{abc}	12,34 ± 0,84 ^a	9,89 ± 0,35 ^{bc}	10,96 ± 0,89 ^{abc}	11,48 ± 1,08 ^{ab}
1-Butanol (mg/100 mL álcool anidro)	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36
2-Butanol (mg/100 mL álcool anidro)	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48
Metanol (mg/100 mL álcool anidro)	< 0,19	< 0,19	< 0,19	< 0,19	< 0,19	< 0,19	< 0,19
Cobre	1,1±0,01 ^a	0,62 ± 0,03 ^b	0,73 ± 0,04 ^b	0,71 ± 0,05 ^b	0,53 ± 0,05 ^b	0,63 ± 0,09 ^b	0,65 ± 0,10 ^b
Alumínio	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si significativamente no teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *Álcoois superiores: isobutílico + isoamilico + propílico
 Padrão: Amostra de cachaça branca utilizada no experimento; C - Amostra controle armazenada em tonel de madeira em 40 e 79 dias; D - Amostra com poliedros (cubos) de madeira armazenada em tonel de inox sem aeração em 40 e 79 dias; E - Amostra com poliedros (cubos) de madeira armazenada em tonel de inox com aeração em 40 e 79 dias.
 NA = Não analisado.

Tabela 2 - Características físico-químicas da dos tratamentos com cachaça branca armazenadas em inox.

Parâmetros	Amostras				
	Padrão	A 40	B 40	A 79	B 79
Grau alcoólico (%vol.)	48,30 ± 0,00 ^a	47,00 ± 0,06 ^{ab}	46,01 ± 0,30 ^b	45,53 ± 0,15 ^{bc}	43,64 ± 0,37 ^{de}
Densidade relativa a 20 °C	0,937 ^d	0,937 ^d	0,939 ^c	0,940 ^c	0,944 ^b
Acidez Total, em ac .acético	16,95 ± 0,00 ^d	16,95 ± 0,00 ^d	16,95 ± 1,21 ^d	16,95 ± 0,47 ^d	17,90 ± 0,58 ^d
Acidez Volátil, em ac. acético	32,38 ± 1,81 ^{ef}	32,18 ± 0,04 ^{ef}	37,29 ± 1,21 ^{cde}	33,37 ± 3,50 ^{ef}	39,46 ± 1,98 ^{bcd}
Ésteres totais	27,40 ± 1,51 ^c	27,41 ± 0,40 ^c	32,50 ± 2,05 ^{cde}	27,41 ± 0,27 ^c	36,40 ± 1,88 ^{bcd}
Extrato seco (g/L)	0,05 ± 0,00 ^e	NA	NA	NA	NA
Açúcares totais (g.L ⁻¹)	0,17 ± 0,0 ^d	NA	NA	0,17 ± 0,040 ^{cd}	0,23 ± 0,019 ^{bc}
Álcool isobutilico *	5,67 ^a	4,37±0,18 ^{bc}	4,26±0,34 ^{bc}	3,78±0,20 ^c	4,69±0,26 ^{bc}
Álcool isoamílico *	9,34 ^{ab}	8,98±0,82 ^{ab}	9,49±0,90 ^{ab}	8,18±1,19 ^{ab}	10,56±0,98 ^a
Propanol *	8,92 ^c	10,43±0,41 ^{abc}	10,21±0,79 ^{abc}	9,42±0,66 ^{bc}	11,39±0,59 ^{ab}
1-Butanol	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36
2-Butanol	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48	< 0,48
Metanol	< 0,19	< 0,19	< 0,19	< 0,19	< 0,19
Cobre	1,10 ± 0,01 ^a	1,11±0,06 ^a	1,20±0,17 ^a	1,20±0,00 ^a	1,23±0,06 ^a
Alumínio	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si significativamente no teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Padrão: Amostra de cachaça branca utilizada no experimento; A - Amostra controle armazenada em tonel de inox em 40 e 79 dias; B - Amostra controle armazenada em tonel de inox, sob aeração em 40 e 79 dias; NA = Não analisado. * Soma dos álcoois superiores: isobutilico + isoamílico + propílico

Tabela 3 - Análise de variância dos compostos fenólicos totais

Tratamentos	Categoria	RESULTADO (mg/L)
Amostra Padrão	0	73,785 ^h
Envelhecimento em tonel de madeira	C - 1	111,827 ^h
	C - 2	145,160 ^{gh}
	C - 3	226,516 ^{efgh}
	C - 4	228,085 ^{defgh}
	C - 5	318,104 ^{abcdef}
	C - 6	328,274 ^{abcdef}
	C - 7	334,363 ^{abcdef}
	C - 8	337,564 ^{abcdef}
	C - 9	370,270 ^{abcde}
Armazenamento em inox com poliedros	D - 1	201,375 ^{fgh}
	D - 2	234,991 ^{cdefgh}
	D - 3	237,533 ^{bcdefgh}

	D - 4	292,524 ^{abcdefg}
	D - 5	386,309 ^{abc}
	D - 6	387,847 ^{abc}
	D - 7	388,412 ^{abc}
	D - 8	390,923 ^{abc}
	D - 9	393,277 ^{ab}
Armazenamento em inox com poliedros sob aeração	E - 1	243,748 ^{bcdefgh}
	E - 2	249,680 ^{bcdefgh}
	E - 3	296,761 ^{abcdefg}
	E - 4	301,469 ^{abcdefg}
	E - 5	309,190 ^{abcdef}
	E - 6	341,488 ^{abcdef}
	E - 7	384,614 ^{abcd}
	E - 8	417,100 ^a
	E - 9	426,830 ^a
Pr > F(Modelo)		<0,0001

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si significativamente no teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Padrão - Amostra de cachaça branca utilizada no experimento; C - Amostra controle armazenada em tonel de madeira em 21 a 79 dias; D - Amostra com poliedros (cubos) de madeira armazenada em tonel de inox sem aeração em 21 a 79 dias; E - Amostra com poliedros (cubos) de madeira armazenada em tonel de inox com aeração em 21 a 79 dias.

Capítulo III

Manuscrito: Características físico-químicas e sensoriais da cachaça obtida do armazenamento em poliedros (cubos) e tonel de madeira jaqueira (Artocarpus heterophyllus)

1 **CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E SENSORIAS DA CACHAÇA OBTIDA**
2 **DO ARMAZENAMENTO EM POLIEDROS (CUBOS) E TONEL DE MADEIRA**
3 **JAQUEIRA (*Artocarpus heterrophylus*)**

4
5 Wilton Amaral dos Santos^a, Jaqueline de Jesus Santos^a, Gabriel Benedito Rozendo Bonfim^a,
6 Benjamim de Almeida Mendes^b; Maria Eugênia de Oliveira Mamede^a

7
8 ^aFaculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, Campus Ondina, Salvador, Bahia,
9 40170-115, Brasil.

10 ^bAssociação Nacional dos Produtores e Integrantes da Cadeia Produtiva e de Valor da Cachaça
11 de Alambique - ANPAQ.
12
13
14
15
16
17

<i>Periódico a ser submetido (1ª submissão):</i>	LWT -FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY - 0023-6438
<i>Maior percentil (Scopus):</i>	90%
<i>Periódico a ser submetido (2ª submissão):</i>	JOURNAL OF FOOD ENGINEERING - 0260-8774
<i>Maior percentil (Scopus):</i>	95%

18
19
20
21
22
23
24
25
26 *Corresponding author: Maria Eugênia de Oliveira Mamede. Rua Barão do Jeremoabo, 147,
27 Ondina, 40170-115, Salvador – BA. Brazil. E-mail: mmamede@ufba.br

28 **Resumo:** A cachaça é o destilado Brasileiro, bastante consumido. O processo de maturação é
29 lento, e demanda tempo e investimento. Novas técnicas visam modular esta etapa, e agregar
30 qualidade e valor a bebida. O uso de chips de madeira, é amplamente utilizado na maturação de
31 diversas bebidas, e seu uso na cachaça tem por finalidade implementar novas técnicas de
32 armazenamento. O objetivo deste trabalho foi analisar a cachaça obtida do armazenamento em
33 tonel de madeira e em tonéis de inox com poliedros (cubos) de madeira de jaqueira (*Artocarpus*
34 *heterophyllus*), considerando os aspectos físico-químicos e sensoriais em relação ao
35 “envelhecimento convencional”. De acordo com os resultados obtidos, as amostras
36 armazenadas em tonéis de inox com poliedros (cubos) de madeira, apresentaram características
37 químicas e sensoriais superiores ao armazenamento convencional. Sendo assim, a utilização de
38 poliedros de madeira apresenta ser uma alternativa promissora e vantajosa para o processo de
39 armazenamento da cachaça.

40

41 **Palavras – chaves:** Controle de qualidade. Madeiras brasileiras. Aceitação. Novas tecnologias

42

43 **ABSTRACT**

44 Cachaça, the Brazilian distilled spirit, is widely consumed. The aging process is slow,
45 demanding both time and investment. Emerging techniques aim to modulate this stage, adding
46 quality and value to the beverage. The use of wooden chips is common in the maturation of
47 various drinks, and its implementation in cachaça storage seeks to introduce new techniques.
48 This study analyzed cachaça obtained from aging in wooden barrels and stainless steel barrels
49 with wooden polyhedra (cubes) from jackfruit trees (*Artocarpus heterophyllus*), considering
50 physicochemical and sensory aspects compared to "conventional aging." According to the
51 results, samples stored in stainless steel barrels with wooden polyhedra exhibited superior
52 chemical and sensory characteristics compared to conventional storage. Thus, the use of
53 wooden polyhedra appears to be a promising and advantageous alternative for cachaça storage.

54

55 **Keywords:** *Quality control. Brazilian woods. Acceptability. New technologies*

56

57 1. INTRODUÇÃO

58 A cachaça é o terceiro destilado mais consumido no mundo, ficando atrás apenas da
59 vodka e do soju. O consumo de cachaça no Brasil gira em torno de 6,9 L/ habitantes/ ano
60 (Bertolino, 2023). Nos últimos anos o consumo da bebida destilada diminuiu, este declínio está
61 relativamente relacionado ao fato do período pandêmico. Durante este período a taxa de
62 consumo apresentou queda de 28,3% em relação aos anos anteriores (IBRAC, 2023).

63 Após a etapa de destilação, a cachaça pode ser comercializada ou envelhecida em
64 recipiente de madeira (Souza *et al.*, 2013). O processo de envelhecimento contribui para a
65 melhoria das características químicas e sensoriais da cachaça (Bortoletto *et al.*, 2013; Castro *et*
66 *al.*, 2020). O envelhecimento da cachaça consiste basicamente em armazenar a bebida destilada
67 em barris de madeira por um tempo determinado e em condições adequadas. Durante esse
68 processo, mudanças importantes ocorrem, aumentando o aroma devido à extração de alguns
69 compostos presentes na madeira; os compostos fenólicos melhoram o sabor, e ocorrem
70 oxidações de alguns compostos fenólicos, reduzindo a adstringência e alterando a cor (Alañón
71 *et al.*, 2011).

72 De acordo Mori *et al.* (2013) essas mudanças ocorrem entre os compostos secundários
73 provenientes da destilação, por extração direta de componentes da madeira e pela decomposição
74 de macromoléculas da madeira, como a hemicelulose, a celulose e lignina. Para ser considerada
75 uma cachaça envelhecida a legislação determina que seja realizada em recipiente com
76 capacidade de 700 litros por um período de um ano (BRASIL, 2022).

77 Conhecer o perfil físico-químico e sensorial da cachaça é crucial para avaliar a sua
78 qualidade. A sinergia entre os compostos torna uma cachaça suave e agradável, refletindo na
79 harmonia do seu conjunto de parâmetros sensoriais. O aprimoramento de sua qualidade
80 contribui para maior aceitação no mercado e maior volume de produção e exportação
81 (ALCARDE *et al.*, 2010).

82 Devido ao desperdício de partes da madeira no processo de construção dos tonéis,
83 começaram a utilizar fragmentos de madeira no envelhecimento de vinhos. Na União Europeia
84 autorizou-se a utilização de asparas de madeira de carvalho na produção de vinho através do
85 Regulamento (CE) n.º1507/2006 e Regulamento (CE) n.º2165/2005 (Kruger *et al.*, 2017).

86 O uso de lascas de madeira promove diferenças no perfil sensorial das bebidas. O
87 principal objetivo da utilização da madeira na produção de bebidas alcoólicas é a extração de
88 compostos da madeira, que tendem a modificar as características sensoriais da bebida (HIC *et*
89 *al.*, 2021). Juntamente com a micro-oxigenação, favorece a extração em menor tempo dos

90 compostos presentes na madeira (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2022). De acordo com Caldeira *et al.*
91 (2010), o envelhecimento em lascas de carvalho confere diferenças de cor e sabor à aguardente
92 em relação ao uso de barricas.

93 Nesse contexto, surge a necessidade de conduzir estudos abrangentes sobre diferentes
94 espécies de madeira, com o propósito de oferecer alternativas viáveis para a fabricação de barris
95 de envelhecimento. Tal iniciativa visa contribuir significativamente para o aprimoramento da
96 indústria de tanoaria, bem como para a otimização dos atributos sensoriais das cachaças
97 envelhecidas, conforme destacado por Castro *et al.* (2015).

98 O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar as características físico-químicas e
99 sensoriais da cachaça resultante do processo de armazenamento em poliedros (cubos) e tonel
100 de madeira da espécie jaqueira, ao longo de um período de 79 dias.

101

102 **2. Material e métodos**

103 **2.1 Obtenção das amostras**

104 As amostras de cachaça foram obtidas do processo de armazenamento em madeira
105 jaqueira (*Artocarpus Heterophyllus*): C - tonel de madeira (armazenamento convencional); D-
106 Armazenada em tonéis de inox com poliedros (cubos) de madeira; E- Armazenada em tonéis
107 de inox com poliedros de madeira, sob aeração.

108 Foram coletados 750 mL de cachaça de cada recipiente, engarrafadas e armazenadas em
109 temperatura ambiente, em torno de 25 °C. Determinou-se o teor alcoólico a 20 °C em balança
110 hidrostática, e posteriormente realizou-se a padronização da cachaça. Para esta etapa, utilizou-
111 se a aguardente branca com teor alcoólico de 48,3% v/v e água ultra pura Milli-Q. Para a
112 padronização levou-se em consideração o aroma e o sabor, obtendo uma cachaça com
113 graduação alcoólica de 39% v/v a 20 °C.

114 **2.2 Análises Físico-Químicas**

115 As análises físico-químicas foram conduzidas no Laboratório de Bromatologia da
116 Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia (UFBA), seguindo as metodologias
117 de análise de bebidas e vinagres estabelecidas pelo Laboratório Nacional de Referência Vegetal
118 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2005). Foram
119 redestilados 300 mL das amostras, a fim de analisar os parâmetros de teor alcoólico, ésteres
120 totais e acidez volátil. A determinação do extrato seco, acidez total, análise toxicológica, cor e
121 fenólicos totais e cobre foram realizadas nas amostras sem a necessidade de redestilação. Todas

122 as análises foram executadas em triplicata. A análise de toxicologia foi conduzida no
123 departamento da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás.

124 **2.2.1 Teor alcoólico**

125 Para determinação da graduação alcoólica, 100 mL da amostra foi destilada utilizando
126 o destilador eletrônico enoquímico, (marca Gibertini, modelo super D.E.E, DensiMat
127 Gibertini). Utilizou-se 65 mL do destilado obtido e realizou-se a leitura da densidade em
128 balança hidrostática eletrônica (Gibertini Elettronica™, modelo Super Alcomat, Itália)
129 juntamente com o teor alcoólico em % v/v.

130 **2.2.2 Acidez total**

131 Foi medido em proveta 100 mL da amostra e transferido para um Erlenmeyer de 500
132 mL e adicionou-se 3 gotas do indicador fenolftaleína. A amostra com o indicador foi titulada
133 com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 M. Os resultados foram expressos em gramas de
134 ácido acético por 100 mL de amostra.

135 **2.2.3 Acidez volátil**

136 Foi determinada por meio da extração por arraste de vapor dos ácidos voláteis,
137 utilizando um destilador eletrônico Enochimico Gibertini. Foram recolhidos 100 mL do extrato
138 obtido; posteriormente, esses foram titulados com hidróxido de sódio 0,1 M em presença de
139 fenolftaleína 1% como indicador. Os resultados foram expressos em gramas de ácido acético
140 por 100 mL de álcool anidro.

141 **2.2.4 Ésteres totais**

142 Foram determinados por meio da titulação dos ácidos carboxílicos obtidos por
143 transesterificação dos ésteres presentes nas amostras. Foram utilizados 100 mL da amostra
144 destilada. A titulação foi realizada com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹
145 em presença de fenolftaleína 1% como indicador. A quantidade total dos ésteres foi expressa
146 em gramas de acetato de etila por 100 mL de amostra.

147 **2.2.5 Extrato seco**

148 A análise de extrato seco foi realizada por meio de métodos gravimétricos. Inicialmente,
149 uma cápsula de alumínio previamente pesada em balança analítica (Sartorius, TE214S), com
150 precisão de 0,1 g. Em seguida, uma alíquota de 25 mL da amostra sem redestilar foi transferida
151 para a cápsula e evaporada em banho-maria a 95°C, por 3 horas. Após esse período, foram
152 levadas à estufa a 100°C por 30 minutos e, posteriormente, o material foi resfriado em

153 dessecador. O resíduo sólido remanescente foi pesado em balança analítica, e os resultados
154 obtidos foram expressos em gramas de extrato seco por litro da amostra.

155 **2.2.6 Cor**

156 Para avaliar as alterações de cor da bebida ao longo dos 79 dias de pesquisa, as cachaças
157 foram analisadas em triplicadas através da aplicação da escala CIElab. Onde L* representa à
158 luminosidade, expressa em percentagem (de 0 para o preto a 100 para o branco), a* e b*
159 representam duas gamas de cor que vão do verde ao vermelho e do azul ao amarelo,
160 respectivamente, com valores que vão de -120 a +120. A partir dos valores de L (luminosidade),
161 a (verde -/vermelho +) e b (azul -/amarelo +), foram determinados os valores de: croma métrica
162 (c) e o ângulo de tonalidade (h). As análises foram realizadas utilizando um colorímetro (Konica
163 Minolta, modelo Chroma meter CR-5, Japão). O aparelho foi ajustado em refletância, com
164 especular incluída, utilizando-se amostra de cachaça branca em uma cubeta de vidro limpo de
165 10 mm de caminho ótico.

166 **2.2.7 Compostos fenólicos totais**

167 A quantificação dos compostos fenólicos totais (CFT) das amostras foi realizado
168 segundo o método de Folin - Ciocalteu. Este método baseia-se na redução dos ácidos
169 fosfomolídicos e fosfotúngsticos pelos compostos fenólicos das amostras com desenvolvimento
170 de uma coloração azul em solução alcalina, cuja intensidade aumenta a 760 nm (Singleton,
171 1995).

172 Para realizar a análise foi adicionado 2,5 mL de solução de Folin - Ciocalteu a 10% e
173 2 mL de uma solução de carbonato de sódio a 7,5% e 0,005 µL de cada amostra e 490 µL de
174 água destilada em tubos de ensaio e em seguida agitados em agitador de tubos (vortex,
175 Phoenix). A mistura foi mantida em repouso durante 2h. A leitura da absorbância das amostras
176 foi realizada no espectrofotômetro (Bel UV-M51 UV-Visível), sendo o branco uma mistura de
177 água destilada, reagente de Folin - Ciocalteu e carbonato de sódio nas mesmas proporções
178 usadas para as amostras. A quantidade de CFT de cada amostra de cachaça foi quantificada por
179 meio de realização de uma curva padrão preparada com ácido gálico. Para a preparação, foi
180 seguido o mesmo procedimento, substituindo apenas a amostra por diferentes concentrações de
181 ácido gálico. Dessa forma, os CFT das amostras foram expressos em mg equivalentes de ácido
182 gálico (GAE) e as análises realizadas em triplicata.

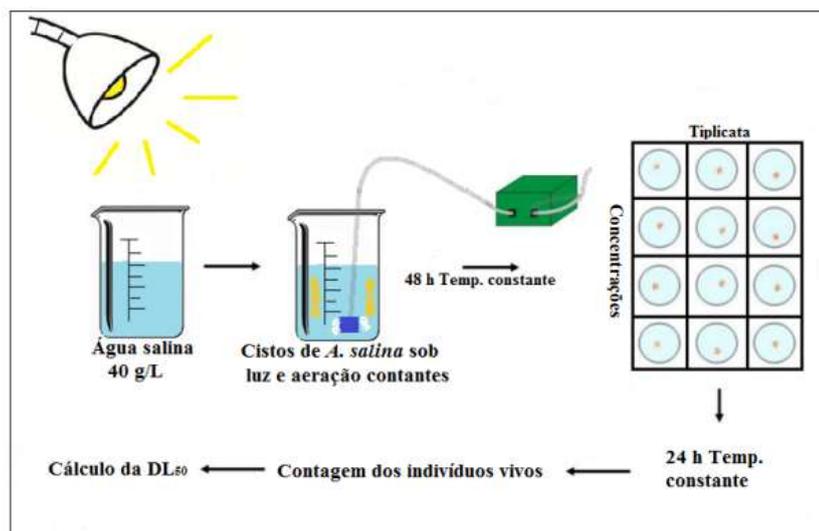
183 **2.2.8 Contaminantes**

184

185 As análises dos contaminantes cobre e alumínio foram realizadas no Laboratório de
186 Estudos de Petróleo (LEPETRO) - UFBA. Foi utilizada a técnica de espectrometria de absorção
187 atômica com forno de grafite (GFAAS) foi utilizada para determinação simultânea de cobre e
188 alumínio nas amostras armazenadas em jaqueira, sem prévia digestão da amostra. Foram
189 analisados por espectrometria de absorção atômica a metodologia utilizada foi conforme o
190 Método Oficial AOAC 967.08. (Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica), sendo as
191 leituras realizadas com chama em 324,7 nm.

192 2.2.9 Testes de toxicidade

193 A determinação de toxicidade foi realizada nos tratamentos em contato com a madeira
194 e amostra branca, na Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás. O ensaio de
195 letalidade em *Artemia salina* Leach foi realizado de acordo com a metodologia descrita por
196 Meyer (1982), conforme ilustrado na Figura 1. Os cistos de *Artemia salina* foram colocados
197 para eclodir em uma solução de água e sal marinho à uma concentração de 40 g/L. A solução
198 salina (pH 8-9) foi filtrada, sendo que 1L utilizado para a eclosão dos ovos (100 mg) e o restante
199 utilizado para preparo das diluições das amostras testadas. A eclosão dos ovos ocorreu em
200 temperatura ambiente e sob luz de 100 W por um período de 48h. Após a eclosão dos ovos, os
201 náuplios foram coletados e distribuídos em tubos de ensaio com a adição de 20 µL das amostras
202 preparadas anteriormente e então completou-se com solução salina até 1 mL. O controle
203 negativo (0 mg mL^{-1}) foi preparado utilizando apenas água salina. Todos os testes foram
204 realizados em triplicata. Após o preparo das soluções, 10 náuplios foram coletados com uma
205 micropipeta e transferidos para os tubos nos quais estavam presentes as amostras de cachaça
206 envelhecidas. Os tubos foram deixados em temperatura ambiente por 24 horas, sendo avaliada
207 a quantidade de larvas vivas. O número de larvas vivas após esse período foi utilizado para
208 calcular a taxa de sobrevivência.



Fonte: Adaptado Garcia-Rodriguez, 2004.

211 **Figura 1** - Esquema de preparação e execução do teste de Letalidade em *Artemia salina* Leach

212
213 Vinte e quatro horas após a aplicação dos extratos, o número de exemplares de *Artemia*
214 *salina* vivos e mortos ou imobilizados, foi contado e a sobrevivência calculada de acordo a
215 equação 1:

$$216 \quad M(\%) = \frac{\text{Número de organismos vivos} \times 100}{\text{Número total de organismos no tubo} (10)} \quad \text{Eq. (1)}$$

217 2.3 Análise sensorial

218 Os testes sensoriais foram realizados de acordo com Dutcosky (2019), no Laboratório
219 de Análise Sensorial da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia - UFBA.
220 Foram aplicados dois testes sensoriais afetivos: teste de aceitação, e ordenação da preferência.
221 No teste de aceitação, participaram 70 provadores não treinados de ambos os sexos, com idades
222 entre 18 e 60 anos. Os participantes consistiram em estudantes, servidores e professores da
223 instituição, que receberam orientações prévias antes de iniciar o teste. As amostras foram
224 identificadas por três dígitos numéricos aleatórios e foram servidas de forma monadica, à
225 temperatura ambiente e sob luz natural, em taças de vidro. Foi utilizado um volume de 25 mL
226 por amostra durante o teste. Cada amostra foi acompanhada por um copo de água e uma bolacha
227 de água e sal para limpeza do paladar entre as amostras.

228 Os atributos sensoriais avaliados foram odor/aroma, sabor, cor e impressão global,
229 através de notas atribuídas em escala hedônica de nove pontos, com extremos “desgostei
230 muitíssimo” (1) e “gostei muitíssimo” (9) conforme Dutcosky (2019). Na mesma ficha de
231 avaliação os julgadores expressaram a intenção de compra do produto avaliado, simulando uma
232 intenção hipotética de compra em que utilizou-se uma escala de cinco pontos, variando de

233 “certamente não compraria” (1) a “certamente compraria” (5), conforme metodologia da ABNT
234 (NBR 14141, 1998). O modelo da ficha encontra-se em anexo (Apêndice B).

235 O teste de ordenação da preferência foi aplicado em 66 provadores não treinados, que
236 foram solicitados a ordenar as amostras da menos preferida (-) para a mais preferida (+). O
237 modelo da ficha de avaliação pode ser encontrado no apêndice C.

238 Os testes sensoriais foram realizados em duas etapas, após a aplicação do teste de
239 aceitação, foram solicitados aos provadores que retornassem ao laboratório para realização do
240 teste de ordenação da preferência. Todos os provadores assinaram o Termo de Consentimento
241 Livre e Esclarecido (TCLE) que encontra-se em anexo (Apêndice A).

242 O trabalho foi aprovado e registrado no Comitê de Ética da Faculdade de Farmácia da
243 UFBA - Universidade Federal da Bahia, Campus Ondina sob o CAAE: 53579421.9.0000.8035.

244

245 **2.4 Análise estatística**

246

247 Todas as análises físico-químicas da cachaça foram realizadas em triplicata e os
248 resultados obtidos foram submetidos à análise de média \pm desvio-padrão.

249 Os resultados obtidos para os parâmetros físico-química e testes sensoriais das amostras
250 de cachaça foram avaliados por meio de análise estatística descritiva dos dados e submetidos
251 análise variância (ANOVA) e teste de média de Tukey a 5% de significância para a comparação
252 entre os pares das médias das amostras. Ao final, os dados foram comparados para verificar se
253 houve relação entre eles, e se os valores encontrados apresentaram diferenças significativas
254 entre si, usando os Softwares XLSTAT® (versão 2022.4.5, 2023), e os gráficos plotados no
255 Origin (2017).

256

257 **3. RESULTADO E DISCUSSÃO**

258 Os resultados obtidos para as análises físico-químicas estão descritos na Tabela 1.
259 Observa-se que há uma diferença estatística significativa entre as amostras, para os parâmetros
260 analisados. O tipo de tratamento influenciou significativamente nos parâmetros. Os resultados
261 demonstram que cada tratamento provoca modificações na composição físico-química da
262 bebida e sensorial. Entretanto, todas as amostras apresentaram valores dentro dos limites
263 máximos para cachaça estabelecidos pelo MAPA.

264 Os teores alcoólicos das amostras foram padronizados em C (39,65% v/v); D (39,74%
265 v/v) seguido de E (39,72% v/v) respectivamente. Todas as amostras encontram-se dentro dos
266 limites estabelecidos para serem considerados cachaça. A Portaria n°539 do MAPA, determina

267 que para ser considerada cachaça, a graduação alcoólica deva estar entre 38% a 48% v/v a 20°C
268 (Brasil, 2022).

269 Ao longo do processo de envelhecimento ocorrem mudanças nas características do
270 destilado, redução do teor alcoólico e aumento da acidez (Bortoletto *et al.*, 2016). A acidez total
271 das amostras não diferiu estatisticamente ($p \leq 0,05$), os menores valores encontrados foram para
272 as amostras C (tonel de madeira) e E (tonel de inox com cubos de madeira, sob aeração) 26,14
273 mg ácido acético/100 mL de álcool anidro, seguido da amostra D (tonel de inox com cubos de
274 madeira) 30,17 mg ácido acético/100 mL de álcool anidro.

275 As amostras apresentaram concentração de acidez volátil abaixo do limite máximo (150
276 mg/100 mL de álcool anidro). As maiores concentrações de acidez volátil foram encontrados
277 para a amostra armazenada em tonéis de inox com poliedros de madeira (D) (38,12 mg. 100
278 mL de álcool anidro), seguido da amostra armazenada em tonel de madeira (C) (38, 12 mg. 100
279 mL de álcool anidro) e amostra armazenada em tonéis de inox com poliedros de madeira, sob
280 aeração (E) (34,25 mg. 100 mL de álcool anidro) respectivamente. Alguns compostos da
281 madeira, como ácidos orgânicos não voláteis, componentes secundários, taninos e compostos
282 fenólicos favorecem o aumento da acidez da aguardente em envelhecimento (Miranda *et al.*,
283 2008).

284 Com relação a concentração de ésteres totais, as amostras analisadas não apresentaram
285 quantidades acima do limite máximo permitido pela legislação que é de 150 mg/100 mL. A
286 amostra oriunda do envelhecimento convencional em tonel de jaqueira (C) apresentou média
287 de 39,04 mg/100 mL, seguido da amostra armazenada em tonel de inox com poliedros de
288 madeira (D) 63,59 mg/100 mL e armazenada em tonel de inox com poliedros de madeira, sob
289 aeração (E) 69,99 mg/100 mL.

290 O teor de extrato seco diferiu significativamente entre as amostras, a maior concentração
291 foi encontrada na amostra D (1,26 g/L), seguido da amostra C (0,84 g/L) e E (0,78 g/L)
292 respectivamente. Entretanto, todas as amostras apresentaram teores de extrato seco abaixo do
293 limite máximo estabelecido pela legislação (6 g/L) (BRASIL, 2022).

294 As concentrações de cobre nas amostras foram inferiores ao limite máximo exigido pela
295 legislação, ou seja, 5 mg/L (Brasil, 2022), variando de 0,70 a 0,78 mg/L. Raposo Jr *et al.* (2012)
296 analisaram 22 bebidas alcoólicas destiladas, sendo 7 amostras de cachaça, 2 tequilas, 2 gins, 1
297 grappa, 2 runs, 4 conhaques, 2 vodcas e 2 uísques e obteve uma faixa de 1,9 a 3,7 mg/L em seis
298 amostras de cachaça, e as demais bebidas com teor de Cu inferior 1 mg/L.

299 **Tabela 1** - Resultados obtidos para caracterização físico-química das amostras de Cachaça
 300 armazenada em poliedros (cubos) e tonel de madeira jaqueira.

Parâmetros	Amostras		
	C	D	E
Teor alcoólico	39,65	39,74	39,72
Ésteres totais	39,04 ± 3,65 ^a	63,59 ± 2,75 ^b	69,99 ± 4,97 ^b
Acidez total	26,14 ± 3,73 ^a	30,17 ± 3,73 ^a	26,14 ± 3,73 ^a
Acidez volátil	38,12 ± 0,00 ^a	41,84 ± 0,00 ^b	34,25 ± 0,00 ^a
Extrato seco	0,84 ± 0,01 ^b	1,26 ± 0,01 ^c	0,78 ± 0,00 ^a
Cobre	0,70 ± 0,01 ^a	0,78 ± 0,02 ^a	0,72 ± 0,01 ^a

301 Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si significativamente no teste de Tukey ($p \leq$
 302 0,05). C – Armazenamento convencional; D - Tonel de inox com cubos de madeira; E - Tonel de inox com cubos
 303 de madeira, sob aeração, ao longo do período de 79 dias de armazenamento.

304 As amostras obtidas do processo de armazenamento em poliedros e tonel de madeira
 305 não apresentaram diferenças significativas para fenólicos totais. Os resultados revelam que a
 306 amostra obtida do armazenamento em inox com poliedros de madeira D (138,19 mg/L)
 307 apresentou maior concentração de fenólicos totais, seguida da amostra C (107,31) amostra
 308 convencional, e amostra armazenada em tonel de inox com poliedros de madeira, sob aeração
 309 E (100,15 mg/L) respectivamente. Estes resultados demonstram que o tipo de armazenamento
 310 e o tempo provocam alterações nas características químicas da bebida. Anjos *et al.* (2011) ao
 311 avaliarem a composição fenólica total da cachaça envelhecida em carvalho durante um ano,
 312 observaram que o teor desses compostos aumentaram. Esse aumento significativo da
 313 composição fenólica total ocorreu no oitavo mês de armazenamento. Os autores determinaram
 314 que esses compostos encontrados na cachaça envelhecida eram ácido gálico, catequina, ácido
 315 vanílico, fenol, ácido siríngico, siringaldeído, vanilina, ácido p-cumárico, cumarina, 4-
 316 metilumbeliferona, ácido o-cumárico e eugenol, através da cromatografia líquida.

317 Para a cor, as amostras não apresentaram diferenças significativas. Os resultados
 318 demonstram que a cachaça armazenada em madeira jaqueira apresentou variação positiva para
 319 luminosidade (L^*). As amostras C e E apresentaram valores de luminosidade iguais,
 320 diferentemente da D. O ângulo de tonalidade (h) permite distinguir a coordenada a^* (verde –
 321 /vermelho +) da b^* (azul –/amarelo +), apresentaram variações significativas, na Tabela 2 foram
 322 observados valores que indicam uma inclinação menor para a coordenada negativa a^* em
 323 relação à coordenada positiva b^* , isto é, valores positivos mais próximos à coloração amarela,
 324 evidenciando que a cachaça armazenada em tonel de jaqueira apresenta cor amarelada. A croma
 325 métrica (c^*), variou significativamente para todas as amostras avaliadas, apresentando menores
 326 valores. Silva, *et al.*, (2020) observaram que a cachaça armazenada em jatobá, ipê e sassafrás

327 apresentaram pigmentação mais avermelhada, ou seja, quanto maior o tempo em contato com
328 a madeira, a cachaça tende a apresentar coloração mais escura.

329

330

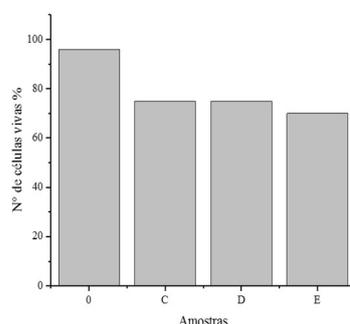
331 **Tabela 2-** Médias das variáveis dos compostos fenólicos totais e colorimétricas das cachaças
332 armazenadas em poliedros e tonel de madeira jaqueira, com respectivas diferenças pelo teste de
333 Scott - Knott ($p \leq 0,05$)

Amostr s	Fenólicos totais	L*	a*	b*	c*	h*
C	107,31 ± 5,48 ^a	96,89 ± 0,35 ^a	-4,72 ± 0,01 ^a	31,10 ± 0,23 ^a	31,46 ± 0,22 ^a	98,63 ± 0,05 ^a
D	138,19 ± 5,39 ^a	91,90 ± 0,43 ^a	0,31 ± 0,00 ^b	47,42 ± 0,40 ^a	47,42 ± 0,40 ^a	89,83 ± 0,06 ^a
E	100,15 ± 2,90 ^a	96,89 ± 0,67 ^a	-4,40 ± 0,01 ^a	34,12 ± 0,51 ^a	34,4 ± 0,50 ^a	97,35 ± 0,15 ^a

334 Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si significativamente no teste de Tukey ($p \leq$
335 0,05). C – Armazenamento convencional; D - Tonel de inox com cubos de madeira; E - Tonel de inox com cubos
336 de madeira, sob aeração, ao longo do período de 79 dias de armazenamento.

337 3.1 Análise de toxicidade

338 Os resultados obtidos para as amostras do armazenamento em madeira de jaqueira, no
339 bioensaio de toxicidade sobre *Artemia Salina* está representado na Figura 2. Pode-se observar
340 que a taxa de sobrevivência foi de 75% para as amostras D e C, e 70% para a amostra E
341 respectivamente, visto que a taxa de concentração letal relatada por outros trabalhos é abaixo
342 de 50%. Não houve diferenças na contagem em 24 horas e para 48 horas. Isso indica que as
343 amostras podem ser consumidas, não apresentando riscos ao ser humano. Estes resultados
344 corroboram com Morais *et al.* (2021) observaram através do teste de toxicidade uma taxa de
345 sobrevivência de 76,7%, 86,7% e 90% na amostra controle, mogno e guanandi respectivamente,
346 para envelhecimento da cachaça.



347

348 **Figura 2 -** Toxicidade em amostras de cachaça armazenadas em tonel de madeira e em inox
349 com cubos de madeira jaqueira. C – Armazenamento convencional; D - Tonel de inox com
350 cubos de madeira; E - Tonel de inox com cubos de madeira, sob aeração, ao longo do período
351 de 79 dias de armazenamento.

352 3.2 Análise sensorial

353 Os resultados obtidos nos testes de aceitação foram submetidos à análise de variância
 354 (ANOVA) e testes de médias de Tukey ($p \leq 0,05$). Conforme apresentado na Tabela 3, observa-
 355 se que as amostras tiveram diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os atributos (odor, cor, sabor
 356 e impressão global).

357 Em relação a cachaça armazenada em cubos de madeira, sem aeração (D) e
 358 armazenamento convencional (C), a cachaça submetida ao armazenamento com cubos de
 359 madeira, sob aeração (E) apresentou maior aceitabilidade por parte dos provadores para os
 360 atributos (odor, sabor e impressão global). Segundo Tavares *et al.* (2017) em seu trabalho, o
 361 vinho envelhecido em contato com lascas de carvalho apresentou valores significativamente
 362 mais elevadas para os descritores de aroma como “baunilha”, “boisé” e “coco”, em comparação
 363 com amostra envelhecida em barrica.

364 A amostra E (armazenamento em inox com poliedros de madeira, sob aeração) obteve
 365 maiores médias, e, portanto, a maior aceitação, para os atributos avaliados (odor, sabor e
 366 impressão global). A amostra C obteve menores médias de aceitação (Tabela 3).

367 Para sabor as amostras apresentaram diferenças significativas, E (6,48), seguido da
 368 amostra D (6,38) e (6,32) para a amostra C (armazenamento convencional). O mesmo pode ser
 369 observado para o atributo odor a amostra E, D e C (6,90, 6,80 e 6,77).

370 Para cor a amostra (D) armazenada em tonel de inox com cubos de madeira, teve maior
 371 escore (7,47), seguido da amostra (E) armazenada em tonel de inox com cubos de madeira, sob
 372 aeração (7,42) e amostra (C) armazenamento convencional (7,31). Jeesan *et al.* (2020)
 373 identificou que a cor superficial afeta a identificação da intensidade dos atributos aroma e sabor.

374 Com relação à impressão global as amostras não diferiram entre si, apresentaram escores
 375 próximos sendo as amostras D e E seguido da amostra C (7,00; 7,14 e 7,27). A impressão global
 376 é o conjunto de todos os atributos sensoriais da bebida, os resultados mostraram que os
 377 provadores não encontraram diferenças nas intensidades dos atributos avaliados entre o
 378 armazenamento convencional, armazenamento em tonel de inox com poliedros (cubos) de
 379 madeira e com poliedros de madeira, sob aeração. Os resultados deste trabalho corroboram com
 380 o de Garcia e Janzantti (2011), que empregaram o teste de preferência em amostras de cachaças
 381 orgânicas e convencionais e não encontraram diferença significativa para o atributo impressão
 382 global entre as bebidas.

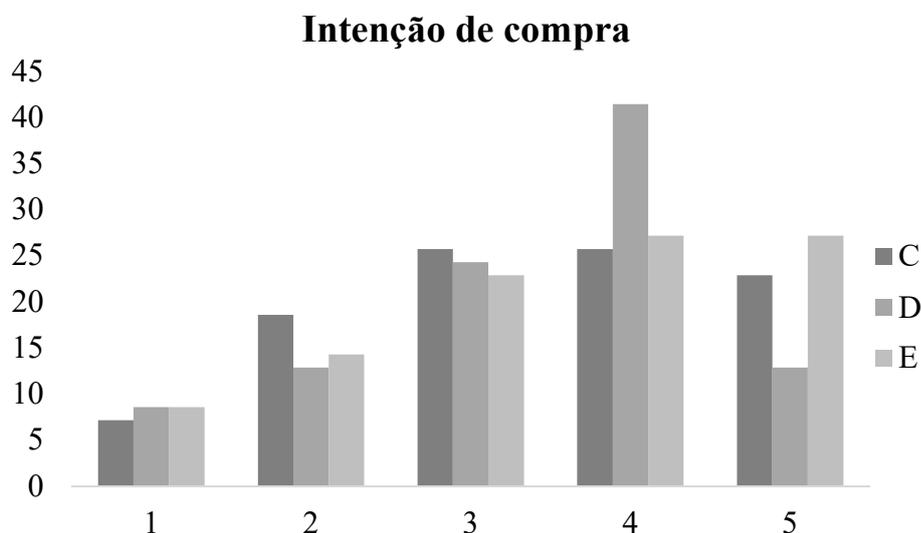
383 **Tabela 3** – Médias em relação à cor, aroma, sabor e impressão global das amostras armazenadas
 384 em contato com madeira jaqueira.

Amostra	Cor	Odor	Sabor	Impressão global
---------	-----	------	-------	------------------

C	7,31 ^a	6,77 ^a	6,32 ^a	7,00 ^a
D	7,47 ^a	6,80 ^a	6,38 ^a	7,14 ^a
E	7,42 ^a	6,90 ^a	6,48 ^a	7,27 ^a

385 Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey,
 386 atendendo aos pressupostos da ANOVA. C – Armazenamento convencional em tonel de madeira; D - Tonel de
 387 inox com cubos de madeira; E - Tonel de inox com cubos de madeira, sob aeração, ao longo do período de 79 dias
 388 de armazenamento.

389 Quanto à intenção de compra, os provadores responderam que “provavelmente
 390 compraria” seguido de “certamente compraria”. A amostra E apresentou maior intenção de
 391 compra, representada pelo conceito “certamente compraria”, seguida pela amostra C. A amostra
 392 D apresentou média para “provavelmente compraria”, seguido de E e C (Figura 3). As amostras
 393 armazenadas em inox com poliedros de madeira obtiveram maiores médias para intenção de
 394 compra.



395 **Figura 3** - Intenção de compra das amostras armazenadas em poliedros e tonel de madeira
 396 jaqueira. 1= certamente não compraria; 2= Provavelmente não compraria o produto; 3= Tenho
 397 dúvida se compraria o produto; 4= Provavelmente compraria o produto; 5= Certamente
 398 compraria o produto.
 399

400
 401 Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados obtidos no Teste de Ordenação-
 402 Preferência, os quais são representados pelos totais de ordenação apontados pelos provadores
 403 para as amostras de cachaça armazenada em madeira jaqueira, em que o valor mais baixo da
 404 soma de ordens indica a maior preferência dos provadores pelo produto. De acordo com o nível
 405 de confiabilidade estabelecido para a análise (95%), o valor da diferença mínima significativa
 406 (DMS) para 3 amostras e 66 julgadores foi de 23. Assim, conforme Dutcosky (2019), para que
 407 ocorra diferença dos totais das ordenações entre as amostras ao nível de significância, a
 408 diferença dos totais das ordenações entre as amostras deve ser maior ou igual ao valor tabelado.

409

410 **Tabela 4** - Diferença entre os totais de ordenação de cada amostra de cachaça armazenada em
411 madeira jaqueira

Amostras	Cor			Sabor			Odor		
	C	D	E	C	D	E	C	D	E
C	0	-49	32	0	-6 ns	18 ns	0	-23	34
D	-	0	-17 ns	-	0	12 ns	-	0	11 ns
E	-	-	0	-	-	0	-	-	0

412 *Diferença crítica significativa ($p \leq 0,05$) = mínimo de 23, para três amostras e 66 provadores, segundo tabela de
413 Christensen *et al.*, 2006. ns – não significativo.

414

415 As cachaças armazenadas em inox com poliedros de madeira (Tabela 5), obtiveram a
416 maior soma das médias para preferência, enquanto o armazenamento convencional apresentou
417 menor somatória de preferência. A análise sensorial mostrou que houve diferença significativa
418 ($p \geq 0,05$) na preferência para cor e odor, e não tiveram diferença em relação ao sabor. A
419 amostra D obteve o maior somatório para cor, seguido de E e C. Em relação ao sabor a amostra
420 E e D tiveram os maiores somatórias, assim como para o atributo odor. Os provadores
421 consideraram a amostra de cachaça do ‘envelhecimento convencional’ como sendo a menos
preferida.

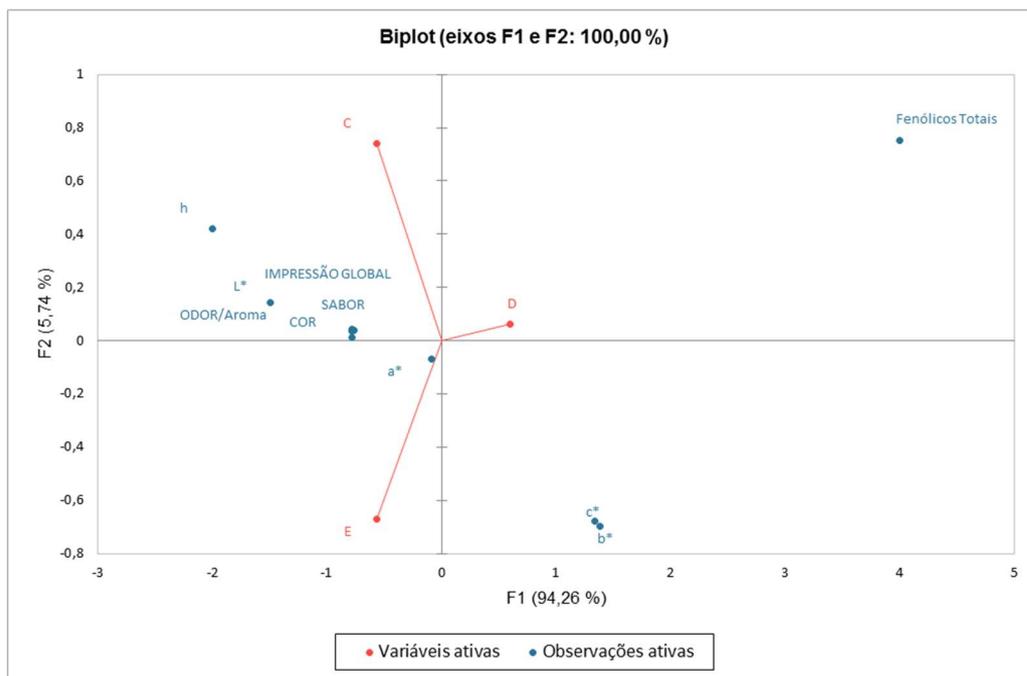
422 **Tabela 5** - Somatórios do teste de ordenação da preferência

Provadores	Amostras	Cor	Sabor	Odor
Total = 66	C	105 ^a	124 ^a	113 ^a
	D	154 ^b	130 ^b	136 ^b
	E	137 ^b	142 ^a	147 ^b

423 Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si significativamente no teste de Tukey ($p \geq$
424 0,05). C – Armazenamento convencional; D - Tonel de inox com cubos de madeira; E - Tonel de inox com cubos
425 de madeira, sob aeração, ao longo do período de 79 dias de armazenamento.

426 3.3 Análise de componente Principal

427 Com o intuito de averiguar uma relação entre fenólicos totais, cor e os atributos
428 sensoriais, os dados foram tratados utilizando-se Análise de componentes principais (ACP)
429 (Figura 4). O conjunto de dados utilizado para a análise de PCA foi elaborado com base nos
430 valores da média de cada atributo avaliado no teste de aceitação (cor, sabor, odor e impressão
431 global), da análise de compostos fenólicos totais e cor.



432
433 **Figura 4** - Biplot PCA para amostras armazenadas em madeira jaqueira com nove variáveis
434 (parâmetros de cor: L*, a*, b*, c*, h*; atributos do teste de aceitação (aroma, cor, sabor e
435 impressão global) e fenólicos totais).

436
437 Na análise de componentes principais (ACP) a combinação foi responsável por 94,24%
438 para F1 e 5,74% para F2 da variância dos dados. O direcionamento e os comprimentos dos
439 vetores indicam até que ponto as variáveis dadas afetaram os componentes principais. Observa-
440 se uma correlação positiva entre as amostras, os atributos avaliados e fenólicos totais. No
441 quadrante superior positivo à direita, foi associado a amostra D e Fenólicos totais, entretanto a
442 amostra E tem uma correlação negativa com ângulo *a de cor. A porção positiva do eixo II à
443 esquerda foi associada à amostra C, juntamente com os atributos sensoriais e os parâmetros h*
444 e L*. A PCA mostrou que os atributos de aceitação têm uma correlação positiva com L* e h*,
445 entretanto apresenta correlação negativa com a*. Observa-se uma correlação positiva entre os
446 atributos sensoriais e o parâmetro b*. Visto que a associação com o parâmetro b* possa estar
447 relacionado com a cor amarela da bebida. A impressão global tem uma correlação positiva com
448 as demais variáveis, principalmente os compostos fenólicos totais e os atributos sensoriais.

449 De acordo Canas (2017), tem-se uma correlação positiva entre a cor e a composição
450 fenólica de uma bebida envelhecida. Neste caso uma aguardente envelhecida em um barril com
451 tosta intensa, apresenta coloração mais forte, fazendo com que uma aguardente obtida de um
452 tonel com tosta suave se apresente diferente. Essa mudança na coloração tem uma relação com
453 os compostos fenólicos extraídos da madeira pela bebida.

454

455 4. CONCLUSÃO

456 Os resultados mostraram que a madeira jaqueira contribuiu para o perfil químico da
457 cachaça, provocando modificações durante o processo de armazenamento. Os parâmetros
458 físico-químicos apresentaram diferença entre os tratamentos analisados, entretanto todos
459 mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira após o processo de
460 armazenamento. Para a análise sensorial de aceitação, os atributos analisados não apresentaram
461 diferença entre as amostras. A amostra (D) armazenamento em inox com cubos e (E)
462 armazenamento em inox com cubos de madeira, sob aeração tiveram ambas os maiores escore
463 geral em relação ao (C) ‘envelhecimento tradicional’. A amostra de armazenamento em inox
464 com cubos de madeira, sob aeração, teve maior escore para os atributos. A ordenação da
465 preferência mostrou que as amostras D e E em contato com os cubos de madeira tiveram
466 preferência, seguido da amostra (C) menos preferida. De acordo com os resultados obtidos,
467 conclui-se que a utilização de poliedros (cubos) de madeira no processo de armazenamento da
468 cachaça pode ser uma opção para o melhoramento da qualidade da bebida.

469 A Superfície específica da madeira influenciou positivamente na extração dos
470 compostos, contribuindo para a diferenciação sensorial e químico do destilado, evidenciando a
471 preferência do consumidor por amostras em contato com cubos em comparação ao
472 ‘envelhecimento convencional’. Outros estudos devem ser realizados para uma melhor
473 compreensão das modificações fornecidas à cachaça.

474 **Contribuição dos autores**

475 **Autor 1:** Realizou o experimento, conceituação, metodologia, redação (rascunho original),
476 analisou e interpretou os dados e escreveu o artigo. **Autor 2:** Aluno de iniciação científica
477 vinculado ao projeto, auxílio em análises e tabulação dos dados. **Autor 3:** Aluno de iniciação
478 científica vinculado ao projeto, auxílio em análises e tabulação dos dados. **Autor 4:**
479 Coorientador do projeto, concebeu e desenhou o projeto, montagem do experimento,
480 interpretação dos dados. **Autor 5:** Orientadora do projeto, reagentes, materiais de análises e
481 forneceu espaço para realização das análises.

482 **Conflito de interesse**

483 Os autores declaram que não há conflito de interesse de nenhuma das partes.

484 **Agradecimentos**

485 Este trabalho foi apoiado financeiramente por Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de
486 Pessoal de Nível Superior (CAPES, nº 88887.631438/2021-00).
487 Ao programa de pós-graduação em ciência de alimentos (Pgali), pela oportunidade em auxiliar
488 no desenvolvimento desta pesquisa.
489 Ao Laboratório de Bromatologia, por ceder o espaço, equipamentos e reagentes para realização
490 das análises.
491 A cachaçaria Santíssima, pela doação da cachaça. A empresa Alambiques Santa Efigênia por
492 construir e doação dos tonéis em inox para o experimento.
493 A todas as cachaçarias parceiras que fizeram este experimento acontecer.

494 5. REFERÊNCIAS

- 495 Alañón, M. E., Castro-vázquez, L., Díaz-maroto, M. C., Hermosín-Gutiérrez, I., Gordon, M.
496 H., & Pérez-coello, M. S. (2011). Antioxidant capacity and phenolic composition of different
497 woods used in cooperage. *Food Chemistry*, 129, 1584- 1590.
- 498 Alcarde, A. R., Souza, P. A., Belluco, A. E. S. (2010). Aspects of the chemical composition
499 and sensorial acceptance of sugar cane spirit aged in casks of different types of woods *Food*
500 *Science Technology*, 30,. 226-232. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000500035>
- 501 Anjos, J. P., Cardoso, M. D. G., Saczk, A. A., Dórea, H. S., Santiago, W. D., Machado, A. M.
502 R., Zacaroni, L. M., & Nelson, D. L. (2011). Evolution of the concentration of phenolic
503 compounds in cachaça during aging in an oak (*Quercus* sp.) barrel. *Journal Brazilian*
504 *Chemical Society*, 22, 1307–1314.
- 505 Bertolino, M. T. (2023) Cachaça boa é a cachaça segura. *Food safety Brazil*. Disponível em:
506 <https://foodsafetybrazil.org/cachaca-boa-e-a-cachaca-segura/> (Acesso em: 10 set. 2023).
- 507 Bortoletto, A. M., Silvello, G. C., & Alcarde, A. R. (2015). Chemical and microbiological
508 quality of sugar cane juice influences the concentration of ethyl carbamate and volatile
509 congeners in cachaça. *Journal Institute Brewing*, 121, 251-256. <https://doi.org/10.1002/jib.213>
- 510
511 Bortoletto, A. M., Correa, A. C., & Alcarde, A. R. (2017). Aging practices influence chemical
512 and sensory quality of cachaça. *Food Reseach International*, 86, 46-53.
513 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.05.003>
- 514
515 Brasil. 2005. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Aprovação do
516 Manual Operacional de Bebidas e Vinagres. Instrução normativa n.24, de 08 de setembro de
517 2005b. [Aprova o Manual Operacional de Bebidas e Vinagres. Instrução Normativa nº 24, de 8
518 de setembro de 2005]. Diário Oficial da União, 30 de setembro de 2005
- 519 Brasil (2022). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Portaria nº 539,
520 de 26 de dezembro de 2022. Aprova a nova Portaria para Fixação dos Padrões de Identidade e
521 Qualidade para Aguardente de Cana e Cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, 26 dez. 2022.
522 Seção 1, n, 243.

- 523 Caldeira, I., Anjos, O., Portal, V., Belchior, A. P., & Canas, S. (2010). Sensory and chemical
524 modifications of wine-brandy aged with chestnut and oak wood fragments in comparison to
525 wooden barrels. *Analytica chimica acta*, 660, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.10.059>
- 526 Canas, S. (2017). Phenolic Composition and Related Properties of Aged Wine Spirits: Influence
527 of Barrel Characteristics. A Review. *Beverages*, 3, 55.
528 <https://doi.org/10.3390/beverages3040055>
- 529 Castro, J. P., Periolo, D. M., Bianchi, M. L., Fonseca, A. S., Alves, I. C. N., & Vasconcelos, F.
530 (2015). Use of amazonian species for aging distilled beverages: physical and chemical wood
531 analysis. *Cerne*, 21, 319-327. <https://doi.org/10.1590/01047760201521021567>
- 532 Castro, M. C., Bortoletto, A. M., Silvello, G. C., & Alcarde, A. R. (2020). Lignin-derived
533 phenolic compounds in cachaça aged in new barrels made from two oak species. *Heliyon*, 6.
534 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05586>
- 535 Christensen, Z. T., Ogden, L. V., Dunn, M. L., & Eggett, D. L. (2006). Multiple comparison
536 procedures for analysis of paired data. *Journal Food Science*, 71, S132-S143.
- 537 DUTCOSKY, S. D. Análise Sensorial de alimentos. 5. ed. Curitiba: Champagnat, 2019. 426 p.
- 538 Garcia, C. C. T., & Janzanti, N. S. (2011). Influence of consumer expectation on the
539 acceptability of organic cachaça. *Semina: Ciências Agrárias*, 32, 1069-1082.
540 <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n3p1069>.
- 541 Híc, P., Horák, M., Balík, J. & Martinák, K. (2021) Assessment of spirit aging on different
542 kinds of wooden fragments. *Wood Science and Technology*, 55, 1-14.,
543 <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01225-x>
- 544 INSTITUTO BRASILEIRO DA CACHAÇA – IBRAC. (2023). Mercado externo. Disponível
545 em: <https://.net/servicos/mercado-externo>. (Acesso em: 26 set. 2023).
- 546 Jeesan, S. A., & Seo, H.-S. (2020). Color-Induced Aroma Illusion: Color Cues Can Modulate
547 Consumer Perception, Acceptance, and Emotional Responses toward Cooked Rice. *Foods*, 9,
548 1845. <https://doi.org/10.3390/foods9121845>
- 549 Jiménez-sánchez, M., Castro, R., Rodríguez-dodero, M. C., & Durán-Guerrero, E. (2022). The
550 impact of ultrasound, micro-oxygenation and oak wood type on the phenolic and volatile
551 composition of a Tempranillo red wine. *Lwt*, 163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113618>.
- 552 Krüger R. T., Alberti, A., & Nogueira, A. (2022). Current Technologies to Accelerate the
553 Aging Process of Alcoholic Beverages: A Review. *Beverages*, 8, 65.
554 <https://doi.org/10.3390/beverages8040065>
- 555 Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putnam, J. E., Jacobsen, L. B., Nichols, D. E., & McLaughlin, J.
556 L. (1982). Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta*
557 *Med*, 45, 31-34.
- 558 Miranda, M. B., Martins, N. G. S., Belluco, A. E. S., Horii, J., & Alcarde, A. R. (2008).
559 Chemical profile of aguardente - Brazilian sugar cane alcoholic drink - aged in oak casks. *Food*
560 *Science and Technology*, 28, 84-89. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000500014>

- 561 Morais, K. C. R. C., Ribeiro, G. O., Jesus, L. S., & Lião, L. M. (2021). Avaliação do perfil
562 químico e toxicológico de cachaças armazenadas em barris de mogno africano (*Khaya*
563 *grandifoliola*) e guanandi (*Calophyllum brasiliense*) oriundos de reflorestamento. I SimBBEB,
564 1º ed. ANAIS I Simpósio de Alimentos e bebidas destiladas. ISBN: 978-65-86861-97-6.
- 565 Mori, F. A., Mendes, L. M., & Mori, C. L. S. O. (2013). Influência da madeira no
566 envelhecimento da cachaça. In: Cardoso, M. G. (Org.). Produção de aguardente de cana, 3ª ed.
567 Lavras: UFLA, 204-219.
- 568 Pigott, J. R., SharP, R. C., & Duncan, R. E. B. (1989). The Science and Technology of
569 Whiskies. In: PIggott, J. R. (Ed.). New York: Longman Scientific & Technical, 410.
- 570 Raposo Jr, J. L., Oliveira, A. P., Jones, B. T., & Gomes Neto, J. A. (2012). Internal
571 Standardization combined with dilute-and-shoot preparation od distilled alcoholic beverages
572 for Cu determination by high-resolution continuum source flame atomic. Absorption
573 Spectrometry. *Talanta*, 92, 53-57,
- 574 Silva, F. A., Morais, K. C. R. C., Ribeiro, K. O., Garcia, L. G. C., & Caliar, M. (2020).
575 Evolution of the content of phenolic compounds, antioxidant activity and color in organic
576 sugarcane spirit aged in barrels of different woods. **Investigação, Sociedade e**
577 **Desenvolvimento**, 9. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3302>.
578 (Acesso em: 5 ago. 2023). [https://doi: 10.33448/rsd-v9i5.3302](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3302)
- 579 Singleton, V. L. (1995). Maturation of wines and spirits: comparison, facts and hypotheses.
580 *American Journal of Enology and Viticulture*, Davis, 46, 98-115,
- 581 Souza, L. M., Alcarde, A. R., Lima, F. V., & Bortoletto, A. M. (2013). **Produção de cachaça**
582 **de qualidade**. Piracicaba: ESALQ, 72.
- 583 Tavares, M., Jordão, A. M., & Ricardo-da-silva, J. M. (2017). Impact of cherry, acacia, and
584 oak chips on red wine phenolic parameters and sensory profile. *Oeno one*, 51, 329, 2017.
585 <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.4.1832>.

586 **APÊNDICE A**587 **Modelo de Termo de consentimento Livre e Esclarecido – TCLE apresentado aos**
588 **provedores**

589

590 **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**591 Obrigatório para Pesquisa Científica em Seres Humanos -Resolução nº 196/06 – (Conselho
592 Nacional de Saúde)
593594 Termo de consentimento livre e esclarecido na forma de convite para avaliadores de cachaça adicionada chips de
595 madeira. Teste de aceitação sensorial e intenção de compra.

596

597 Título do projeto: **“MODULAGEM DO PROCESSO DE ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA:**
598 **UMA NOVA ABORDAGEM SOBRE O USO DE CHIPS NA BEBIDA”.**599 O(A) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar do estudo **“Modulagem do processo de**
600 **envelhecimento da cachaça: Uma nova abordagem sobre o uso de chips de madeira no processo”**, de
601 responsabilidade do pesquisador Maria Eugênia de Oliveira Mamede Wilton Amaral dos Santos, aluno de
602 mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos da Faculdade de Farmácia-UFBA, a ser
603 realizado no laboratório de Análise Sensorial da Faculdade de Farmácia/UFBA, Salvador-Bahia.604 Esse estudo tem por objetivo avaliar sensorialmente as amostras de cachaça adicionada chips de madeira,
605 observando o uso de novas tecnologias para o envelhecimento da bebida, visando um curto prazo para
606 comercialização do produto. Sua participação é muito importante e você participará como integrante da equipe que vai
607 consumir as bebidas preparadas. A bebida será obtida no mesmo processo de produção, haja visto que o uso de
608 chips será somente no processo de envelhecimento.609 O (A) senhor (a) deverá experimentar as amostras e responder a ficha de avaliação que será entregue junto
610 com as amostras e o presente termo, para realização do teste de aceitação e intenção de compra. A análise será
611 realizada em “Home” ou seja, teste realizado em casa, em que cada provador receberá as amostras em temperatura
612 ambiente, em recipientes descartáveis. Ressaltamos que as amostras a serem provadas serão produzidas com rigor
613 higiênico-sanitário, segundo as Boas Práticas de Fabricação.614 Sabendo-se que toda pesquisa envolvendo seres humanos pode levar a riscos, o risco abordado nesta
615 pesquisa é a possibilidade de desconforto que poderá causar no sujeito que apresentar sensibilidade a algum
616 componente presente na bebida, como teor alcoólico alto, compostos fenólicos da madeira, alergia a alguma
617 substância presente na bebida. As bebidas a serem provadas contêm teor alcoólico, compostos da madeira, dentre
618 outras substâncias oriundas do envelhecimento. Tem-se o risco da não devolução dos questionários e o não
619 preenchimento pelos provedores.620 Informamos que não há benefício direto para o participante desse estudo. Os benefícios incluem sua
621 opinião sobre aceitação e a intenção de compra com relação ao produto. O (A) Senhor(a) não terá nenhum gasto
622 financeiro ou pagamento por sua cooperação. Sua participação é voluntária e você possui total liberdade de se
623 recusar a participar da pesquisa, a qualquer momento que desejar, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu
624 cuidado. Em caso de dano pessoal, diretamente causado pela sua participação neste estudo, o(a) Senhor(a) tem
625 assegurado o direito a tratamento médico na Instituição, bem como às indenizações legalmente estabelecidas. Para
626 maiores esclarecimentos que desejar o(a) Senhor(a) poderá entrar em contato com o pesquisador responsável –
627 Maria Eugênia de Oliveira Mamede.628 Todas as informações colhidas e os resultados dos testes serão analisados em caráter estritamente
629 científico, mantendo-se a confidencialidade (segredo) do participante a todo o momento, ou seja, em nenhum
630 momento os dados que o identifique serão divulgados, a menos que seja exigido por lei. Os resultados desta
631 pesquisa poderão ser apresentados em reuniões ou publicações, contudo, sua identidade não será revelada nessas
632 apresentações. Assim, solicitamos a sua permissão, com a assinatura deste termo, para a divulgação dos resultados
633 deste estudo, nos meios já citados.634 Todas as informações coletadas, assim como a assinatura deste termo de consentimento, ficarão
635 armazenados por 5 anos, sob a guarda e responsabilidade do Laboratório de Análise Sensorial – Faculdade de
636 Farmácia, sob a responsabilidade da Profa. Dra. Maria Eugênia de Oliveira Mamede, localizado na sala 113 da

637 Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia no campus de Ondina aqui em Salvador-BA. Após este
638 período, será realizado o seu descarte de maneira a preservar o sigilo e confidencialidade dos dados.

639 Eu, enquanto pesquisador, me comprometo em garantir ao(à) senhor(a) o máximo de benefícios com o
640 mínimo de danos e riscos, tanto potenciais individuais quanto coletivos. Por isso, para se tornar participante deste
641 estudo, peço-lhe que assine este termo de consentimento que está sendo emitido em 2 vias, assinadas por mim e
642 pelo(a) senhor(a), sendo que uma via ficará com o(a) senhor(a) e a outra armazenada comigo. Saliento também
643 que, este estudo foi aprovado pelo **Comitê de Ética em Pesquisa** em Seres Humanos da Faculdade de Farmácia
644 (CEP/FAR/UFBA), cujo contato está descrito abaixo para maiores informações e/ou esclarecimentos.

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

Wilton Amaral dos Santos

Faculdade de Farmácia-UFBA

Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos

Rua Barão do Jeremoabo, nº 147, Ondina - Salvador, BA. CEP: 40.170-115

Contato: (38) 9 9733-7524 – wiltonasantos1997@gmail.com

655

656

657

Esta pesquisa foi aprovada pelo **Comitê de Ética em Pesquisa** em Seres Humanos da Faculdade de
Farmácia (CEP/FAR/UFBA) em ____/____/_____, localizado à rua Barão de Jeremoabo, 147 - Ondina,
Salvador - BA, 40170-115. Tel (71) 3283-6917. Email: cepfar@ufba.br.

658

659

660

661

Eu, _____ declaro que, após
convenientemente esclarecido(a) pelo pesquisador e ter compreendido o que me foi explicado, concordo em
participar da pesquisa, por livre e espontânea vontade.

662

Salvador, _____ de _____ 20__.

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

Assinatura

677

678

APÊNDICE B679 **Modelo de ficha utilizado no teste de aceitação**

680

TESTE DE ACEITABILIDADE

Provador N° _____

681

682 **NOME:** _____

DATA: ___/___/2023

683

E-mail: _____

684

IDADE: () 18-21 () 22-30 () 30-40 () maior que 40 anos

685

Instruções para o teste: Você está recebendo uma amostra codificada de CACHAÇA

686

ENVELHECIDA. Por favor, prove a amostra codificada e atribua uma nota para a amostra

687

em relação aos atributos avaliados, utilizando a escala ao lado.

Amostra	Impressão Global	Cor	Aroma	Sabor
Amostra				

- 9- Gostei muitíssimo
8- Gostei muito
7- Gostei regularmente
6- Gostei ligeiramente
5- Nem gostei/ nem desgostei
4- Desgostei ligeiramente
3- Desgostei regularmente
2- Desgostei muito
1- Desgostei muitíssimo

688

689

690

691

692

Baseado na impressão global do produto, indique a sua ATITUDE DE COMPRA com relação a amostra, usando a escala abaixo:

693

694

5- Certamente compraria o produto

695

4- Provavelmente compraria o produto

696

3- Tenho dúvida se compraria o produto

697

2- Provavelmente não compraria o produto

698

1- Certamente não compraria o produto

699

700

Comentários: _____

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

Amostra: _____ Nota: _____

711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742

APÊNDICE C

Modelo de ficha utilizado no teste de ordenação

TESTE ORDENAÇÃO

Nº

Nome: _____ Data: ____ / ____ / ____

E-mail: _____

Você está recebendo 3 amostras codificadas de cachaça envelhecida, por favor, prove as amostras e ordene-as em ordem crescente de preferência com relação ao odor.

- Preferida_____
+ Preferida

Comentários: _____

743

ANEXOS

744 **Anexo I - Quadros com as medidas de tonéis tronco cônicos**

745 Quadro 1 - Superfície Específica de tonéis tronco cônicos e cilíndricos de 700 L, com
746 diferentes relações de esbeltez.

Volume - L	D- dm	H - dm	R. E. H/D	AL - dm ²	ATF- dm ²	AL/ ATF	AT - dm ²	SE - AT/V dm ⁻¹
700	4,46	44,66	10	626,83	31,34	20	658,17	0,940
700	5,62	28,13	5	497,52	49,75	10	547,27	0,781
700	7,63	15,27	2	366,57	91,64	4	458,22	0,654
700	8,40	12,61	1,5	333,05	111,01	3	444,07	0,634
700	9,05	10,86	1,2	309,18	128,82	2,4	438,00	0,625
700*	9,62	9,62	1,0	290,95	145,47	2,0	436,428	0,623
700	10,36	8,29	0,8	270,09	168,81	1,6	438,90	0,627
700	10,59	7,948	0,75	264,34	176,23	1,5	440,57	0,629
700	12,12	6,06	0,5	230,92	230,92	1,0	461,85	0,659
700	16,45	3,29	0,2	170,15	425,37	0,4	595,52	0,850
700	20,73	2,07	0,1	135,04	675,24	0,2	810,28	1,157

747 D – Diâmetro; H - Altura; RE – Relação de esbeltez; AL - Área Lateral ATF - Área de Tempo
748 e Fundo; AT- Área Total; SE – Superfície específica.

749 **Fonte:** Mendes, 2023.

750

751 ***RECIPIENTE DE referência (PADRÃO):** mínimo dispêndio de madeira (mais econômico)
752 e mínima SE para um tonel de 700 litros. TE mínimo nele = 365 dias

753 Onde: Relação de Esbeltez = RE = H/D; SE = AT/V = (4 + 2/k) / D, sendo k = H/D e AT = AL
754 + ATF

755

756 Para ilustrar a influência da superfície específica no tempo de maturação, considerando-
757 se apenas a extração sólido-líquido que ocorre, apresenta-se abaixo um quadro contendo sete
758 diferentes recipientes de madeira com diferentes tamanhos e mesma geometria.

759

760 Quadro 2 - S.E. e T.E. em 7 Tonéis Tronco cônicos com RE igual a 1 e volumes de 0,07; 0,7;
761 7; 70; 700; 7000 e 70000 litros

Volum e L	D dm	H dm	AL dm ²	ATF dm ²	AT dm ²	AL/AT F	SE dm ⁻¹	SE/SE P	TE dia
0,07	0,44	0,446	0,626	0,313	0,940	2	13,43	21,544	16,941
0,7	0,962	0,962	2,909	1,454	4,364	2	6,234	10	36,5
7	2,0733	2,073	13,504	6,75	20,257	2	2,893	4,64	78,64
70	4,466	4,4668	62,6836	31,34	94,0255	2	1,343	2,15	169,42
700	9,623	9,623	290,95	145,47	436,42	2	0,623	1	365

7000	20,733 3	20,733 3	1350,47	675,23	2025,71	2	0,28 9	0,46	786,37
70000	44,66	44,66	6268,36	3134,1 8	9402,55	2	0,13 4	0,21	1694,1 8

762 TE – Tempo de envelhecimento/armazenamento.

763 **Fonte:** Mendes, 2023.

764 Onde: S.E. = superfície específica (dm^{-1}); T. E. = tempo de envelhecimento (dia) e SEP =
765 **$0,623469928 \text{ dm}^{-1} = 0,62347 \text{ dm}^{-1}$**

766 **OBSERVAÇÕES:** A SE de um recipiente tronco cônico, com RE igual a 1, varia de 2,1544
767 vezes quando o volume varia de 10 vezes. A SE de um recipiente tronco cônico, com RE igual
768 a 1, varia de 10 vezes, quando o volume varia de 1000 vezes.

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792 **Anexo II: Tabelas referentes as massas dos tonéis, início do experimento.**793 **Tratamento A** - cachaça branca em inox, sob aeração

Massa dos tonéis de inox e os componentes					
Tonel	Massa total do tonel vazio	Corpo	Tampa	Suporte dos poliedros	Placa pressora superior
	g				
A1	7.594	4.520	2.296	0,456	0,336
A2	7.578	4.502	2.286	0,45	0,344
A3	7,620	4.524	2.296	0,456	0,352

794

Massa dos tonéis de inox cheios e da cachaça			795
Tonel	Massa do tonel vazio	Massa de cachaça	Massa do tonel cheio
	g		
A1	7.594	6,43	14102
A2	7.578	6,43	14078
A3	7,62	6,43	14090

796

797 **Tratamento B** - cachaça branca em inox, sob aeração

Massa dos tonéis de inox e os componentes					
Tonel	Massa total do tonel vazio	Corpo	Tampa	Suporte dos poliedros	Placa pressora superior
	g				
B1	8,002	4,884	2,3	0,446	0,334
B2	8,158	4,948	2,38	0,444	0,336
B3	8,016	4,912	2,276	0,444	0,33

798

Massa dos tonéis de inox cheios e da cachaça			799
Tonel	Massa do tonel vazio	Massa de cachaça	Massa do tonel cheio
	g		
B1	8,002	6,43	14454
B2	8,158	6,43	14614
B3	8,016	6,43	14478

804 **Tratamento C** - Armazenamento convencional

Massa dos tonéis de madeira cheios e da cachaça		
Tonel	Massa do tonel vazio	Massa do tonel cheio
	g	
C1	5750	12426
C2	5965	12662

C3	5945	6,43	12582
----	------	------	-------

805

806 **Tratamento D**

Massa dos tonéis de inox e os componentes

	Massa total do tonel vazio	Corpo	Tampa	Suporte dos poliedros	Placa pressora superior
Tonel	g				
D1	7,590	4,516	2,284	0,452	0,344
D2	7,578	4,504	2,278	0,454	0,346
D3	7,644	4,550	2,306	0,450	0,340

807 D – Armazenamento em tonel de inox com poliedros de madeira

Massa dos tonéis de inox cheios e da cachaça e os poliedros de madeira

	Massa do tonel vazio	Massa dos poliedros	Massa de cachaça	Massa do tonel cheio
Tonel	g			
D1	7,59	637	6,43	15630
D2	7,578	685	6,43	15658
D3	7,644	625	6,43	14766

808

809 **Tratamento E**

Massa dos tonéis de inox e os componentes

	Massa total do tonel vazio	Corpo	Tampa	Suporte dos poliedros	Placa pressora superior
Tonel	g				
E1	8,032	4,92	2,286	0,442	0,342
E2	7,98	4,876	2,28	0,442	0,336
E3	8,016	4,886	2,304	0,442	0,336

810 E – Armazenamento em tonel de inox com poliedros de madeira, sob aeração.

Massa dos tonéis de inox cheios e da cachaça e os poliedros de madeira

	Massa do tonel vazio	Massa dos poliedros	Massa de cachaça	Massa do tonel cheio
Tonel	g			
E1	8032	640	6,43	15,124
E2	7980	725	6,43	15,168
E3	8016	625	6,43	15,116

811

812

813

814

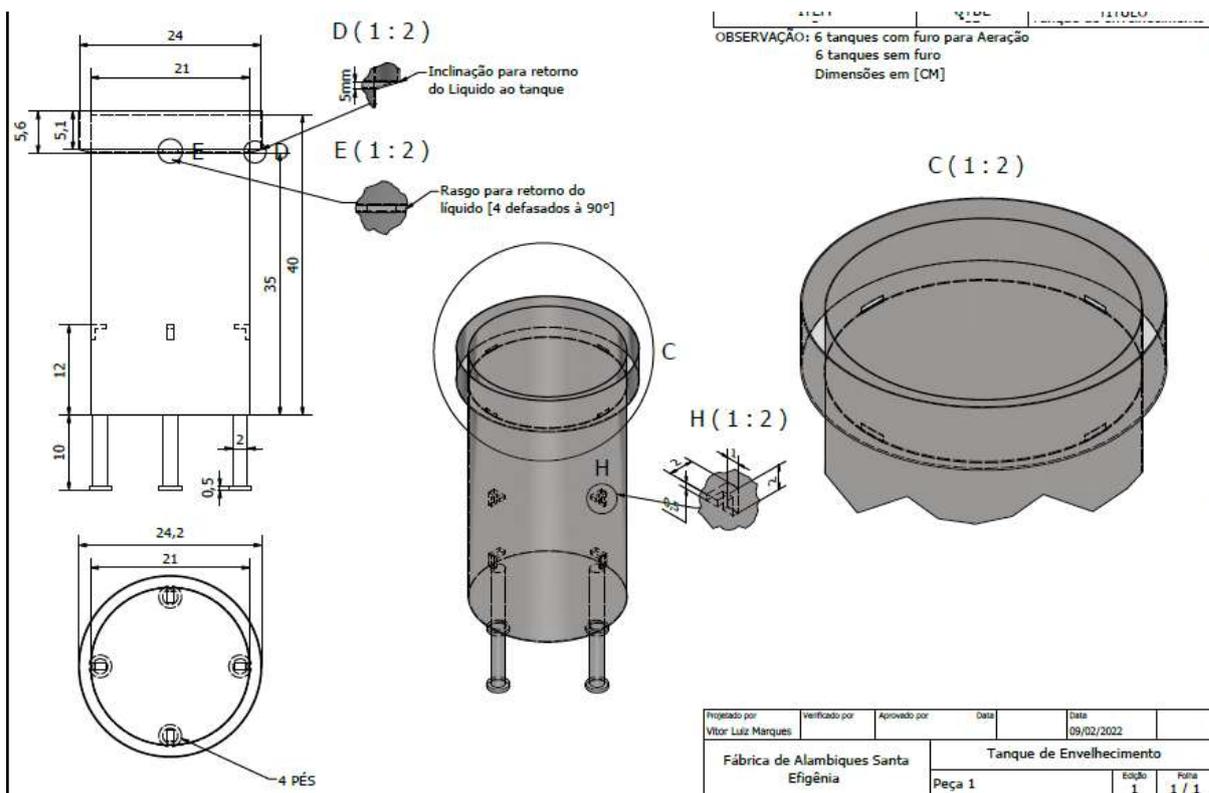
815

816

817 **Anexo III: Desenho do tonel de inox**

818

819



820

821

822

823

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834 **Anexo IV - Massas dos poliedros (cubos) por tratamentos em tonéis de inox.**835 **Tonel D1 – Cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros madeira, sem aeração.**

Cubos N°	Massa inicial (g)	Massa final encharcada (g)	Massa final (g) -Massa Inicial	Peso dos cubos secos	Divisão do ganho de massa	Massa absorvida	Massa retida
	(g)	(g)	Massa de cachaça absorvida (g)	(g)	%	%	%
1D1	16,82	30,66	6,92	13,79	82,28	41	50
2D1	17,13	30,20	6,54	14,31	76,30	38	46
3D1	16,60	30,38	6,89	13,49	83,01	42	51
4D1	16,53	30,00	6,74	13,52	81,49	41	50
5D1	14,32	29,46	7,57	11,62	105,73	53	65
6D1	16,32	29,99	6,84	13,32	83,76	42	51
7D1	18,53	31,70	6,59	15,29	71,07	36	43
8D1	15,98	29,79	6,91	13,20	86,42	43	52
9D1	18,11	30,36	6,13	14,99	67,64	34	41
10D1	16,77	30,74	6,99	13,70	83,30	42	51
11D1	15,34	29,87	7,27	12,63	94,72	47	58
12D1	15,85	30,45	7,30	12,98	92,11	46	56
13D1	16,31	30,42	7,06	13,41	86,51	43	53
14D1	19,10	32,05	6,48	15,65	67,80	34	41
15D1	18,69	30,94	6,13	15,48	65,54	33	40
16D1	16,52	30,15	6,82	13,58	82,51	41	50
17D1	16,39	30,52	7,07	13,41	86,21	43	53
18D1	16,81	30,87	7,03	13,92	83,64	42	51
19D1	15,02	29,90	7,44	12,29	99,07	50	61
20D1	19,00	31,61	6,31	15,58	66,37	33	40
21D1	16,15	30,17	7,01	13,09	86,81	43	54
22D1	16,24	30,55	7,16	13,35	88,12	44	54
23D1	15,99	29,92	6,97	13,11	87,12	44	53
24D1	16,07	29,74	6,84	13,38	85,07	43	51
25D1	15,71	29,84	7,07	13,07	89,94	45	54
26D1	15,87	30,59	7,36	13,07	92,75	46	56
27D1	15,96	30,85	7,45	13,14	93,30	47	57
28D1	16,24	30,34	7,05	13,27	86,82	43	53
29D1	17,36	30,84	6,74	14,23	77,65	39	47
30D1	16,45	31,23	7,39	13,64	89,85	45	54
31D1	17,88	30,38	6,25	14,59	69,91	35	43
32D1	18,57	31,01	6,22	15,48	66,99	33	40
33D1	17,47	31,24	6,89	14,37	78,82	39	48
34D1	17,02	31,18	7,08	14,00	83,20	42	51

35D1	18,42	32,16	6,87	15,07	74,59	37	46
36D1	16,33	28,82	6,25	13,34	76,48	38	47
37D1	14,91	29,87	7,48	12,19	100,34	50	61
38D1	15,91	30,84	7,47	13,09	93,84	47	57
Especial	5,39	9,35	1,98	4,49	73,47	37	44
Total	634,69	1.175,76			85,25		
Média	16,41	29,97	6,78	13,49	83,09	42	51

836 Média de encharcamento dos cubos foi de 85%

837

838 **Tonel D2** – Cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros madeira, sem aeração.

Cubos N°	Massa inicial (g)	Massa final encharcada (g)	Massa final (g) - Massa Inicial	Peso dos cubos secos	Divisão do ganho de massa	Massa absorvida	Massa retida
	(g)	(g)	Massa de cachaça absorvida (g)	(g)	%	%	%
1D2	17,21	29,40	6,10	14,23	70,83	35	43
2D2	19,68	32,42	6,37	16,42	64,74	32	39
3D2	19,84	33,00	6,58	16,37	66,33	33	40
4D2	17,27	29,64	6,19	14,13	71,63	36	44
5D2	19,85	33,06	6,61	16,40	66,55	33	40
6D2	17,36	31,34	6,99	14,50	80,53	40	48
7D2	17,25	29,59	6,17	14,21	71,54	36	43
8D2	20,22	32,96	6,37	16,85	63,01	32	38
9D2	16,83	29,76	6,47	13,84	76,83	38	47
10D2	20,09	33,26	6,59	16,56	65,56	33	40
11D2	17,16	30,97	6,91	14,22	80,48	40	49
12D2	17,11	30,14	6,52	14,10	76,15	38	46
13D2	16,66	30,48	6,91	13,72	82,95	41	50
14D2	21,31	33,28	5,99	17,31	56,17	28	35
15D2	16,53	30,35	6,91	13,60	83,61	42	51
16D2	16,99	30,56	6,79	14,05	79,87	40	48
17D2	16,87	30,25	6,69	13,91	79,31	40	48
18D2	19,20	32,77	6,79	16,04	70,68	35	42
19D2	20,34	33,30	6,48	16,87	63,72	32	38
20D2	17,05	29,99	6,47	14,10	75,89	38	46
21D2	17,18	29,60	6,21	14,27	72,29	36	44
22D2	18,39	32,17	6,89	15,20	74,93	37	45
23D2	16,80	30,37	6,79	13,86	80,77	40	49
24D2	17,03	29,31	6,14	14,08	72,11	36	44
25D2	17,33	29,93	6,30	14,23	72,71	36	44
26D2	17,10	29,40	6,15	14,10	71,93	36	44

27D2	17,39	30,70	6,66	14,37	76,54	38	46
28D2	17,18	30,73	6,78	14,18	78,87	39	48
29D2	17,45	30,65	6,60	14,35	75,64	38	46
30D2	17,20	30,57	6,69	14,19	77,73	39	47
31D2	17,19	29,36	6,09	14,19	70,80	35	43
32D2	17,71	31,89	7,09	14,74	80,07	40	48
33D2	18,70	31,99	6,65	15,47	71,07	36	43
34D2	17,77	31,33	6,78	14,60	76,31	38	46
35D2	17,31	30,30	6,50	14,38	75,04	38	45
36D2	17,00	30,57	6,79	14,06	79,82	40	48
37D2	17,42	31,34	6,96	14,39	79,91	40	48
38D2	21,07	33,51	6,22	17,58	59,04	30	35
Especial	4,90	9,05	2,08	4,04	84,69	42	51
Total	682,04	1.093,43			60,32		
Média	17,61	30,49	6,44	14,56	73,76	36,88	44,63

839 Média de encharcamento dos cubos foi de 60%

840

841 **Tonel D3** – Cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros madeira, sem aeração.

Cubos N°	Massa inicial (g)	Massa final encharcada (g)	Massa final (g) -Massa Inicial	Peso dos cubos secos	Divisão do ganho de massa	Massa absorvida	Massa retida
	(g)	(g)	Massa de cachaça absorvida (g)	(g)	%	%	%
1D3	15,45	30,72	7,64	13,65	98,83	49	56
2D3	16,33	29,44	6,56	12,57	80,28	40	52
3D3	16,62	30,72	7,05	13,39	84,84	42	53
4D3	14,43	31,08	8,33	15,21	115,38	58	55
5D3	16,65	30,09	6,72	12,41	80,72	40	54
6D3	16,53	30,57	7,02	13,21	84,94	42	53
7D3	16,77	30,34	6,79	13,17	80,92	40	52
8D3	16,25	29,86	6,81	12,36	83,75	42	55
9D3	17,64	31,02	6,69	14,97	75,85	38	45
10D3	14,73	30,15	7,71	15,09	104,68	52	51
11D3	17,59	30,81	6,61	15,16	75,16	38	44
12D3	17,36	30,03	6,34	12,63	72,98	36	50
13D3	17,08	31,45	7,19	14,72	84,13	42	49
14D3	16,44	27,56	5,56	10,09	67,64	34	55
15D3	14,94	30,82	7,94	13,67	106,29	53	58
16D3	15,69	30,85	7,58	16,85	96,62	48	45
17D3	16,70	30,77	7,04	13,91	84,25	42	51
18D3	16,71	30,49	6,89	14,75	82,47	41	47

19D3	17,10	29,92	6,41	13,64	74,97	37	47
20D3	16,58	30,89	7,16	13,56	86,31	43	53
21D3	16,70	29,17	6,24	13,21	74,67	37	47
22D3	14,95	31,29	8,17	15,58	109,30	55	52
23D3	17,01	30,22	6,61	15,09	77,66	39	44
24D3	16,51	30,21	6,85	12,96	82,98	41	53
25D3	17,18	31,27	7,05	15,43	82,01	41	46
26D3	16,68	31,66	7,49	15,37	89,81	45	49
27D3	14,72	29,92	7,60	12,72	103,26	52	60
28D3	17,33	29,88	6,28	12,70	72,42	36	49
29D3	15,74	30,49	7,38	13,58	93,71	47	54
30D3	17,30	30,60	6,65	13,20	76,88	38	50
31D3	16,57	30,68	7,06	13,38	85,15	43	53
32D3	16,04	30,23	7,10	13,56	88,47	44	52
33D3	16,41	30,99	7,29	13,60	88,85	44	54
34D3	17,60	30,88	6,64	13,86	75,45	38	48
35D3	15,15	31,64	8,25	15,49	108,84	54	53
36D3	16,37	30,20	6,92	15,02	84,48	42	46
37D3	14,74	30,03	7,65	12,35	103,73	52	62
38D3	16,51	30,74	7,12	13,75	86,19	43	52
Especial	4,93	9,34	2,21	5,54	89,45	45	40
Total	621,10	1173,88			89,00		
Média	16,34	30,47	7,06	13,84	86,97	43	51

842 Média de encharcamento dos cubos foi de 89%

843

844 **Tonel E1** – Cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros de madeira, sob aeração.

Cubos N°	Massa inicial (g)	Massa final encharcada (g)	Massa final (g) - Massa Inicial	Peso dos cubos secos	Divisão do ganho de massa	Massa absorvida	Massa retida
	(g)	(g)	Massa de cachaça absorvida (g)	(g)	%	%	%
1 E1	16,48	27,34	5,43	12,91	65,90	33	42
2 E1	15,18	28,38	6,60	13,57	86,96	43	49
3 E1	16,32	28,61	6,15	13,77	75,31	38	45
4 E1	18,61	27,44	4,42	12,07	47,45	24	37
5 E1	15,18	28,46	6,64	13,74	87,48	44	48
6 E1	16,20	28,82	6,31	13,69	77,90	39	46
7 E1	16,10	30,29	7,10	13,87	88,14	44	51
8 E1	15,04	28,73	6,85	13,37	91,02	46	51
9 E1	18,16	29,40	5,62	14,75	61,89	31	38
10 E1	18,16	27,89	4,87	12,25	53,58	27	40

11 E1	18,54	29,35	5,41	14,74	58,31	29	37
12 E1	15,35	30,61	7,63	14,54	99,41	50	52
13 E1	17,91	28,95	5,52	14,25	61,64	31	39
14 E1	12,47	28,34	7,94	13,83	127,27	64	57
15 E1	16,48	28,03	5,78	12,51	70,08	35	46
16 E1	16,95	27,70	5,38	13,20	63,42	32	41
17 E1	16,95	29,92	6,49	13,88	76,52	38	47
18 E1	17,96	29,98	6,01	13,95	66,93	33	43
19 E1	16,60	28,94	6,17	14,28	74,34	37	43
20 E1	16,76	28,60	5,92	13,81	70,64	35	43
21 E1	16,14	28,60	6,23	13,77	77,20	39	45
22 E1	18,63	27,90	4,64	12,49	49,76	25	37
23 E1	18,26	28,92	5,33	14,27	58,38	29	37
24 E1	15,67	28,36	6,35	13,78	80,98	40	46
25 E1	18,80	28,83	5,02	14,34	53,35	27	35
26 E1	18,85	28,56	4,86	13,75	51,51	26	35
27 E1	15,28	27,90	6,31	12,27	82,59	41	51
28 E1	15,29	29,39	7,05	14,47	92,22	46	49
29 E1	16,65	27,71	5,53	13,22	66,43	33	42
30 E1	16,07	29,01	6,47	14,44	80,52	40	45
31 E1	16,31	28,74	6,22	13,77	76,21	38	45
32 E1	16,48	28,09	5,81	13,49	70,45	35	43
33 E1	16,37	29,10	6,37	13,46	77,76	39	47
34 E1	16,86	29,34	6,24	14,74	74,02	37	42
35 E1	18,76	27,41	4,33	12,74	46,11	23	34
36 E1	18,03	28,48	5,23	13,66	57,96	29	38
37 E1	15,08	27,79	6,36	12,25	84,28	42	52
38 E1	16,84	28,45	5,81	13,67	68,94	34	42
Especial	5,43	9,11	1,84	4,133	67,77	34	45
Total	635,77	1108,75			74,39		
Média	16,44	28,14	5,85	13,38	72,32	36,16	43,75

845 Média de encharcamento dos cubos foi de 74%

846

847 **Tonel E2** – Cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros de madeira, sob aeração.

Cubos N°	Massa inicial (g)	Massa final encharcada (g)	Massa final (g) -Massa Inicial	Peso dos cubos secos	Divisão do ganho de massa	Massa absorvida	Massa retida
	(g)	(g)	Massa de cachaça absorvida (g)	(g)	%	%	%
1 E2	21,14	33,57	6,22	17,74	58,80	29	35
2 E2	16,58	30,41	6,92	13,73	83,41	42	50

3 E2	20,88	33,49	6,31	17,38	60,39	30	36
4 E2	19,71	32,73	6,51	16,44	66,06	33	40
5 E2	17,39	31,09	6,85	14,51	78,78	39	47
6 E2	21,42	33,83	6,21	17,83	57,94	29	35
7 E2	16,78	29,84	6,53	13,94	77,83	39	47
8 E2	16,96	30,07	6,56	14,13	77,30	39	46
9 E2	19,69	32,69	6,50	16,31	66,02	33	40
10 E2	16,95	30,50	6,78	14,08	79,94	40	48
11 E2	17,53	31,29	6,88	14,52	78,49	39	47
12 E2	17,30	30,97	6,84	14,38	79,02	40	48
13 E2	16,98	29,65	6,34	14,07	74,62	37	45
14 E2	17,30	30,42	6,56	14,40	75,84	38	46
15 E2	17,72	31,48	6,88	14,67	77,65	39	47
16 E2	19,87	33,05	6,59	16,51	66,33	33	40
17 E2	19,59	32,74	6,58	16,26	67,13	34	40
18 E2	19,78	33,11	6,67	16,50	67,39	34	40
19 E2	17,82	31,21	6,70	14,67	75,14	38	46
20 E2	21,11	33,64	6,27	17,46	59,36	30	36
21 E2	21,87	34,05	6,09	18,27	55,69	28	33
22 E2	17,22	29,67	6,23	14,27	72,30	36	44
23 E2	19,84	33,43	6,80	16,43	68,50	34	41
24 E2	16,87	29,39	6,26	14,23	74,21	37	44
25 E2	20,00	33,22	6,61	16,69	66,10	33	40
26 E2	20,78	33,68	6,45	17,39	62,08	31	37
27 E2	17,41	31,84	7,22	14,70	82,88	41	49
28 E2	20,50	33,53	6,52	16,98	63,56	32	38
29 E2	18,05	32,26	7,11	15,06	78,73	39	47
30 E2	18,49	32,15	6,83	15,36	73,88	37	44
31 E2	20,64	33,24	6,30	17,15	61,05	31	37
32 E2	19,89	33,28	6,70	16,64	67,32	34	40
33 E2	17,03	31,08	7,03	14,15	82,50	41	50
34 E2	17,18	30,45	6,64	14,30	77,24	39	46
35 E2	19,11	22,79	1,84	15,86	19,26	10	12
36 E2	21,22	33,54	6,16	17,69	58,06	29	35
37 E2	17,59	30,15	6,28	14,61	71,40	36	43
38 E2	21,69	33,75	6,03	18,15	55,60	28	33
Especial	4,74	9,06	2,16	3,95	91,14	46	55
Total	717,88	1235,28			72,07		
Média	18,53	31,19	6,33	15,42	69,46	35	42

848 Média de encharcamento dos cubos foi de 72%

849

850

851 **Tonel E3** – Cachaça armazenada em tonel de inox com poliedros de madeira, sob aeração.

Cubos N°	Massa inicial (g)	Massa final encharcada (g)	Massa final (g) -Massa Inicial	Peso dos cubos secos	Divisão do ganho de massa	Massa absorvida	Massa retida
	(g)	(g)	Massa de cachaça absorvida (g)	(g)	%	%	%
1 E3	15,01	27,70	6,35	12,67	84,54	42	50
2 E3	16,45	29,82	6,69	13,63	81,28	41	49
3 E3	14,60	27,74	6,57	14,78	90,00	45	44
4 E3	14,79	27,90	6,56	12,28	88,64	44	53
5 E3	17,66	31,64	6,99	14,81	79,16	40	47
6 E3	16,47	28,86	6,20	13,68	75,23	38	45
7 E3	16,57	28,93	6,18	13,75	74,59	37	45
8 E3	14,88	27,56	6,34	12,44	85,22	43	51
9 E3	17,27	29,64	6,19	14,40	71,63	36	43
10 E3	16,46	28,42	5,98	13,52	72,66	36	44
11 E3	14,62	27,37	6,38	12,12	87,21	44	53
12 E3	14,83	27,19	6,18	12,36	83,34	42	50
13 E3	17,95	29,67	5,86	15,06	65,29	33	39
14 E3	14,77	27,73	6,48	12,27	87,75	44	53
15 E3	16,31	29,73	6,71	13,80	82,28	41	49
16 E3	16,85	31,29	7,22	13,89	85,70	43	52
17 E3	15,18	27,81	6,32	12,67	83,20	42	50
18 E3	16,07	28,22	6,08	13,23	75,61	38	46
19 E3	17,50	31,18	6,84	14,65	78,17	39	47
20 E3	16,70	29,09	6,20	13,76	74,19	37	45
21 E3	17,46	31,38	6,96	14,54	79,73	40	48
22 E3	17,33	31,47	7,07	14,34	81,59	41	49
23 E3	16,67	29,25	6,29	13,74	75,46	38	46
24 E3	17,00	29,86	6,43	14,08	75,65	38	46
25 E3	17,04	29,12	6,04	14,18	70,89	35	43
26 E3	16,19	29,80	6,81	13,44	84,06	42	51
27 E3	15,50	28,58	6,54	12,80	84,39	42	51
28 E3	17,05	29,06	6,01	14,28	70,44	35	42
29 E3	16,60	28,77	6,09	13,70	73,31	37	44
30 E3	17,06	29,23	6,09	14,19	71,34	36	43
31 E3	14,78	27,83	6,53	12,31	88,29	44	53
32 E3	16,55	28,69	6,07	13,61	73,35	37	45
33 E3	16,50	28,73	6,12	13,78	74,12	37	44
34 E3	17,02	28,95	5,97	14,03	70,09	35	43
35 E3	15,45	28,03	6,29	12,84	81,42	41	49
36 E3	17,45	31,35	6,95	14,44	79,66	40	48

37 E3	17,46	29,25	5,90	14,56	67,53	34	40
38 E3	16,98	28,86	5,94	14,26	69,96	35	42
Especial	4,92	9,1	2,09	4,12	84,96	42	51
Total	621,03	1095,9			76,46		
Média	16,05	28,58	6,27	13,41	78,51	39	47

852 Média de encharcamento dos cubos foi de 76%

853