



CAMPUS SÃO BERNARDO

**Universidade Federal do Maranhão
Licenciatura em Ciências Naturais – Química
Campus São Bernardo**

Pavel Viana Costa

**INFLUENCIA DO MATERIAL DO ALAMBIQUE (COBRE E AÇO INOX)
NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CACHAÇA PRODUZIDA EM SANTA QUITÉRIA
E EM SÃO BERNARDO - MA**

São Bernardo- MA

2026

Pavel Viana Costa

**INFLUÊNCIA DO MATERIAL DO ALAMBIQUE (COBRE E AÇO INOX) NA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CACHAÇA PRODUZIDA EM SANTA QUITÉRIA E
EM SÃO BERNARDO - MA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura em
Ciências Naturais/ Química, da
Universidade Federal do Maranhão,
Centro de Ciências São Bernardo, como
requisito para obtenção do título de
Licenciado em Ciências Naturais/Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Maria do
Socorro Evangelista Garreto.

São Bernardo- MA

2026

Viana Costa, Pavel.

INFLUENCIA DO MATERIAL DO ALAMBIQUE COBRE E AÇO INOX NA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CACHAÇA PRODUZIDA EM SANTA QUITÉRIA
E EM SÃO BERNARDO- MA / Pavel Viana Costa. - 2026.

53 f.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Evangelista
Garreto.

Monografia (Graduação) - Curso de Ciências Naturais -
Química, Universidade Federal do Maranhão, São Bernardo -
Ma, 2026.

1. Cachaça Feita À Mão. 2. Alambique Feito de Aço
Inox. 3. Composição Físico-química. I. Evangelista
Garreto, Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro. II. Título.

Pavel Viana Costa

**INFLUÊNCIA DO MATERIAL DO ALAMBIQUE (COBRE E AÇO INOX) NA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CACHAÇA PRODUZIDA EM SANTA QUITÉRIA E
EM SÃO BERNARDO - MA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura
em Ciências Naturais/ Química, da
Universidade Federal do Maranhão,
Centro de Ciências São Bernardo, como
requisito para obtenção do título de
Licenciado em Ciências
Naturais/Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Maria do Socorro
Evangelista Garreto.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr^a. Maria do Socorro Evangelista Garreto (Orientadora)
Universidade Federal do Maranhão – LCNQ- CCSB- UFMA

Prof.^a Dr^a. Louise Lee da Silva Magalhães
Universidade Federal do Maranhão – LCNQ- CCSB- UFMA

Prof. Dr. Josberg da Silva Rodrigues
Universidade Federal do Maranhão – LCNQ- CCSB- UFMA

Dedico este trabalho à minha família que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e me incentivando em tudo. Obrigado Sempre pelo apoio de vocês. Aos nobres professores por compartilharem o conhecimento. E especialmente a minha orientadora, que deste o início, aceitou tamanho desafio, muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao criador do universo, pela sua misericórdia e bondade todos os dias, por nos inspirar sempre a cada novo amanhecer, pois é através da sua vontade permissiva que alcançamos a sabedoria para entender todas as coisas.

Aos meus colegas, por terem enfrentado as lutas diárias de cada período vivido, por cada prova e por cada trabalho realizado. Cada um foi essencial nessa trajetória de lutas, choro, vitórias.

Especialmente ao meu nobre amigo Alefe Costa, que sempre me apoiou, e sempre me incentivou a continuar, obrigado irmão. Você foi essencial para a nossa chegada até aqui, obrigado por sempre nos encorajar a nunca desistir.

Aos meus amigos, que sempre entenderam que a ausência se fez necessário, para podermos alcançar as vitórias desejadas. Cada um foi essencial e contribuíram para chegarmos até aqui.

Aos meus colegas de ônibus, que juntos enfrentamos um dos maiores desafios dessa carreira, que era a nossa viagens, que apesar da pouca distância, sempre foi repleta de perigos, dificuldades que nos motivaram sempre a prosseguir.

Não poderia esquecer aos meus companheiros de PIBID, as experiências e aprendizados que tivemos foi uma das melhores coisas que pode acontecer nesse trajeto, a nossa orientadora Professora Wilma, que nos fez atravessar um momento complicado que foi a pandemia. Nós vencemos!

Não poderia deixar de agradecer especialmente a minha orientadora Professora Dra. Maria do Socorro Evangelista Garreto, que deste convite lá no começo, aceitou o desafio e caminhou comigo, me orientando, me ajudando na construção deste trabalho, a senhora o meu muito obrigado, que Deus a recompense, lhe dando ainda mais sabedoria.

RESUMO

A cachaça é a bebida destilada brasileira mais conhecida, historicamente ligada aos antigos engenhos de açúcar e com grande importância socioeconômica, especialmente para pequenos produtores rurais. Outro ponto técnico crucial da produção artesanal é o material do alambique utilizado na destilação, que, tradicionalmente, é o cobre, por sua ação catalítica na remoção de compostos sulfurados, embora, cada vez mais, esteja sendo substituído pelo aço inoxidável, devido ao alto custo do metal. Considerando a contradição entre a prática empírica e a opinião dos produtores locais sobre a falta de variações sensoriais, este estudo buscou analisar como os alambiques de cobre e aço inoxidável afetam a composição físico-química da cachaça artesanal feita nos municípios de Santa Quitéria e São Bernardo, que estão localizados no Baixo Parnaíba Maranhense. Foram obtidas três amostras de cachaça, oriundas de sistema integral de cobre, sistema integral de aço inoxidável e sistema misto, as quais foram analisadas quanto aos parâmetros físico-químicos de teor alcoólico real e aparente, acidez volátil, ésteres totais, densidade relativa a 20°C e grau Brix, no Laboratório de Química da Universidade Federal do Maranhão, de acordo com os métodos oficiais do MAPA. Os resultados mostraram diferenças significativas entre as amostras: a cachaça destilada em alambique de cobre teve a maior concentração de ésteres totais, confirmando a literatura sobre o efeito catalítico do cobre; a amostra do sistema misto teve uma acidez volátil muito superior ao limite legal, sugerindo um problema no processo de fermentação; e apenas a cachaça de aço inoxidável ficou dentro dos padrões legais de teor alcoólico, enquanto as outras foram classificadas fora da faixa permitida para cachaça. Portanto, o material de que é feito o alambique, sem dúvida, influencia a composição físico-química da cachaça artesanal, principalmente o cobre, que favorece a criação de ésteres e diminui a presença de compostos indesejáveis, mas o controle do processo produtivo, em especial da fermentação e do corte das frações durante a destilação, é tão importante para a qualidade e conformidade legal do produto. Para que a cachaça artesanal do Baixo Parnaíba Maranhense seja valorizada, é essencial que os produtores da região adotem boas práticas de fabricação e realizem um monitoramento sistemático dos parâmetros de processo.

Palavras-chave: Cachaça feita à mão; Alambique feito de aço inox; Composição físico-química; Legislação (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

ABSTRACT

Cachaça is the best-known Brazilian distilled spirit; historically linked to old sugar mills, it holds great socioeconomic importance, particularly for small-scale rural producers. Another crucial technical aspect of artisanal production is the material of the still used for distillation—traditionally copper, due to its catalytic role in removing sulfur compounds—though it is increasingly being replaced by stainless steel because of the metal's high cost. Given the contradiction between empirical practice and the opinions of local producers regarding the lack of sensory variations, this study aimed to analyze how copper and stainless steel stills affect the physicochemical composition of artisanal cachaça produced in the municipalities of Santa Quitéria and São Bernardo, located in the Lower Parnaíba region of Maranhão. Three cachaça samples were obtained—originating from an all-copper system, an all-stainless steel system, and a mixed system—and analyzed for physicochemical parameters (actual and apparent alcohol content, volatile acidity, total esters, relative density at 20°C, and Brix degree) at the Federal University of Maranhão's Chemistry Laboratory, in accordance with official MAPA methods. The results showed significant differences between the samples: the cachaça distilled in a copper still had the highest concentration of total esters, confirming the literature regarding the catalytic effect of copper; the sample from the mixed system had a volatile acidity well above the legal limit, suggesting a problem in the fermentation process; and only the stainless-steel-produced cachaça fell within legal standards for alcohol content, while the others were classified outside the permitted range for cachaça. Therefore, the material of the still undoubtedly influences the physicochemical composition of artisanal cachaça—particularly copper, which promotes ester formation and reduces the presence of undesirable compounds—yet control over the production process, especially regarding fermentation and the separation of fractions during distillation, is equally important for the product's quality and legal compliance. For artisanal cachaça from the Baixo Parnaíba region of Maranhão to gain recognition, it is essential that local producers adopt good manufacturing practices and systematically monitor process parameters.

Keywords: Artisanal cachaça; Stainless steel still; Physicochemical composition; Legislation (Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply).

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. Referencial teórico	15
2.1 Cachaça: contexto histórico, econômico e cultural.....	15
2.1.1 Origem e evolução da cachaça no Brasil	15
2.1.2 Importância econômica e cultural da produção artesanal	17
2.1.3 Produção de cachaça no Maranhão e no Baixo Parnaíba	18
2.2 Matéria-prima e produção da cachaça artesanal	19
2.2.1 Cana-de-açúcar e composição química do caldo.....	19
2.2.2 Etapas da produção da cachaça artesanal	20
2.2.3 Produção artesanal e produção industrial	21
2.3 Processo de destilação e materiais dos alambiques.....	22
2.3.1 Fundamentos químicos da destilação	22
2.3.2 Alambique de cobre	22
2.3.3 Alambique de aço inoxidável.....	23
2.3.4 Influência do material do alambique na qualidade da cachaça	24
2.4 Parâmetros físico-químicos e composição química da cachaça	25
2.4.1 Teor alcoólico	25
2.4.2 Acidez volátil	25
2.4.3 Ésteres totais.....	25
2.4.4 Aldeídos	25
2.4.5 Densidade relativa e °Brix	26
2.5 Controle de qualidade e legislação da cachaça	26
2.5.1 Padrões de identidade e qualidade	26
3. Metodologia	27
3.1 Coleta das Amostras	27
3.1.1 Seleção dos locais e critérios	27
3.1.2 Identificação e coleta das amostras	27
3.2 Análises Físico-Químicas.....	28
3.2.1 Determinação do Teor Alcoólico Real e Aparente (% vol. a 20°C).....	28
3.2.2 Determinação da Acidez Volátil (mg/100 mL de álcool anidro)	28
3.2.3 Determinação de Ésteres Totais (mg/100 mL de álcool anidro).....	29
3.2.4 Densidade Relativa a 20°C	29

3.2.5 Grau Brix (°Brix)	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Caracterização dos Locais de Produção	30
4.1.1 Perfil dos produtores e área de estudo.....	30
4.1.2 Tipos de alambique utilizados	30
4.1.3 Metodologia artesanal empregada	31
4.2 Resultados das Análises Físico-Químicas	32
4.2.1 Teor alcoólico real	33
4.2.2 Teor alcoólico aparente	34
4.2.3 Acidez volátil	35
4.2.4 Ésteres totais.....	37
4.2.5 Densidade relativa.....	38
4.2.6 Grau Brix	39
4.3 Influência do Material do Alambique na Composição Química	40
4.3.1 Influência do cobre	40
4.3.2 Influência do aço inoxidável	41
4.3.3 Sistema misto	42
4.4 Comparação dos Resultados com a Legislação Vigente	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
Referências	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação das amostras e tipo de alambique utilizado.....	27
Tabela 2. Parâmetros físico-químicos das amostras de cachaça analisadas	33
Tabela 3. Conformidade das amostras com os limites legais vigentes	44

1. Introdução

A cachaça destaca-se como a mais popular das bebidas destiladas brasileiras, possuindo raízes históricas profundas que remontam ao período do Brasil Colônia. Desde a sua gênese associada aos primitivos engenhos açucareiros, a atividade mantém-se como um relevante pilar de sustentação socioeconômica, constituindo fonte essencial de subsistência e geração de renda para inúmeras famílias de produtores rurais. Historicamente, a consolidação da cultura da cana-de-açúcar em solo nacional impulsionou o país ao posto de principal fornecedor global de sacarose, criando concomitantemente as condições técnicas estruturais para o surgimento fortuito e posterior refinamento do processo de destilação do mosto fermentado.

Partindo dessa composição, simples, observou-se que a cana de açúcar, após a extração do caldo, fermenta, e que após ser destilada se torna uma bebida quente apreciada por todo o mundo, que é a cachaça brasileira. Nossa bebida típica, usada em comemorações, ou até mesmo para lazer, com forte teor alcoólico, é obtida do processo natural de fermentação do caldo de cana, que posteriormente é destilada em alambiques de cobre ou até mesmo de aço inox.

O processo produtivo artesanal baseia-se primordialmente na extração do caldo de cana, seguido pela fermentação microbiológica e subsequente destilação descontínua. Tradicionalmente, o cobre tem sido o material hegemônico na engenharia de construção de alambiques, devido à sua expressiva maleabilidade mecânica, alta condutibilidade térmica e, fundamentalmente, por atuar como agente catalisador na redução de compostos sulfurados indesejáveis. Contudo, oscilações macroeconômicas recentes e a volatilidade do preço do metal impulsionaram a adoção do aço inoxidável como alternativa tecnológica na manufatura de equipamentos, em virtude da durabilidade estendida e do menor custo inicial de investimento.

A cachaça é uma bebida genuinamente brasileira. O setor tem sido responsável por expressivos faturamentos e pelo emprego de parte considerável da mão de obra brasileira (CHALITA, 2008).

Vale destacar, que a cachaça tem um papel econômico bastante relevante, social e cultural no Brasil. Sendo assim, é de suma importância que seus produtores possam agregar valor e qualidade à bebida sem abrir mão de competitividade e sustentabilidade. De acordo com dados do Centro Brasileiro de Referência da Cachaça (2022), a produção brasileira de cachaça foi estimada em 1,4 bilhões de

litros, o que torna o Brasil o 3º maior mercado produtor, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos .

A cachaça, bebida genuinamente brasileira, por isso o termo “Cachaça do Brasil”, presente no mercado nacional e internacional, desperta o interesse de setores industriais com enorme potencial para a geração de divisas no país (CARDOSO, 2013). Sendo uma bebida extremamente popular, recebe diversas nomenclaturas, sinônimas e códigos: pinga, água que passarinho não bebe, água de cana, caninha, caiana, branquinha, bagaceira, paraty, goró, lampreia, marvada, mundureba ou mandureba (BARBOSA, 2016) e a expressão famosa, eternizada por Mussum, mé! (BARRETO, 2014)

A cachaça é produto brasileiro bastante apreciado pelo mundo, haja visto que tal bebida é a composição da famosa caipirinha brasileira, tornando-se assim uma das bebidas mais forte e apreciadas pelo mundo. Culturalmente a cachaça brasileira é um objeto de exportação tendo valor agregado pelo mundo.

Para Cardoso et al (1999), o aumento do consumo de aguardente de qualidade e a possibilidade de exportação estão cada vez mais exigindo que o processo de fabricação de aguardente seja baseado em práticas criteriosamente determinadas para obtenção de um produto mais padronizado e com qualidade comprovada nos aspectos físico-químicos e sensoriais. A qualidade da aguardente requer conhecimentos científicos e tecnológicos apurados, competência, sensibilidade e dedicação (CARDOSO, 1999; COUTINHO, 2001; CHAVES, 2002; DANIEL, 2015).

A cachaça que é produzida na região do baixo Parnaíba maranhense, ainda é produzida de forma artesanal, sendo cultivada a cana, para posteriormente se extrair o caldo, que por sua vez é destilado, tornando-se de fato cachaça. Vale ressaltar ainda, que os mesmos produtores, também fazem o processo de destilação da mandioca, para a criação de outra bebida conhecida como “tiquira”, uma aguardente que é feita através da fermentação da mandioca e depois destilado.

Assim, a cachaça é um grande mercado a ser explorado, devido ao seu enorme potencial comercial, fazendo que a região possa crescer e se desenvolver, tornando-se um grande produto para o estado e para Brasil. A fabricação de cachaça, é certamente um grande negócio para os pequenos produtores rurais, que tem na bebida um mercado certo a ser explorado. Reconhecida como uma bebida tipicamente brasileira a cachaça faz parte da história brasileira, contudo falta desenvolver marca e atribui valor ao produto.

Um dos aspectos técnicos centrais na produção de cachaça é o material utilizado na fabricação do alambique, equipamento responsável pelo processo de destilação. Historicamente, o cobre (Cu) é o material mais utilizado, em razão de suas propriedades catalíticas que favorecem a eliminação de compostos sulfurados indesejáveis e contribuem para a qualidade sensorial da bebida. Contudo, o elevado custo do cobre nos últimos anos tem levado muitos produtores a adotarem alambiques de aço inoxidável, material mais acessível e de vida útil equivalente.

A transição e substituição de materiais na cachaçaria fomentam debates de cunho técnico-científico quanto à preservação da identidade sensorial e da integridade físico-química do destilado final. Enquanto defensores da tradição empírica e estudos consolidados sustentam que o aço inoxidável compromete o *bouquet* da bebida (ou *bouquet* é o conjunto de aromas complexos e sofisticados que uma bebida — especialmente o vinho) ao mitigar reações químicas depurativas, produtores regionais por vezes preconizam a ausência de variações perceptíveis no produto acabado. Diante desta dicotomia, fundamenta-se a necessidade de conduzir investigações experimentais rigorosas capazes de determinar o real impacto de diferentes superfícies metálicas sobre as variáveis analíticas da bebida.

Nos últimos anos, com o preço elevado do dólar, o que impactou de forma direta o preço do cobre, buscou-se como alternativa pela fabricação e produção de alambiques feitos a partir do aço inox, devido ter uma vida útil semelhante ou até mesmo maior ao cobre. Contudo, alguns consumidores alegam que a cachaça feita no alambique de aço inox é diferente da produzida tradicionalmente em alambiques de cobre.

Questionou-se sobre o assunto a um produtor da região, o qual disse que não existia diferenças no gosto da bebida, haja vista, que o processo é sempre igual, diferenciando apenas o alambique.

Este estudo propõe-se a mapear e avaliar o perfil físico-químico de amostras de cachaça artesanal produzidas nos municípios de Santa Quitéria e São Bernardo, situados na microrregião do Baixo Parnaíba Maranhense. A investigação confronta os parâmetros experimentais obtidos com as exigências técnicas instituídas pela legislação nacional vigente, fornecendo subsídios científicos para a validação, controle de qualidade e aprimoramento dos processos manufatureiros da cachaçaria regional.

Diante disso, este estudo tem como objetivo geral investigar a influência dos tipos de material que constitui os alambiques (cobre e aço inox) na composição físico-química da cachaça artesanal produzida nos municípios de Santa Quitéria e São Bernardo – MA, considerando os parâmetros de qualidade estabelecidos pela legislação vigente. Para alcançar esse propósito, definiram-se os seguintes objetivos específicos: identificar e caracterizar os locais de produção artesanal de cachaça nos referidos municípios maranhenses; descrever os processos químicos envolvidos na destilação do caldo de cana em alambiques de cobre e aço inox, avaliando o impacto direto desses materiais na composição final da bebida; determinar os parâmetros físico-químicos das amostras obtidas, incluindo variáveis como teor alcoólico, acidez volátil, ésteres, aldeídos, densidade relativa e °Brix; comparar os resultados analíticos entre as cachaças destiladas em cobre e em aço inox para apontar possíveis divergências ligadas ao material do equipamento; e, por fim, verificar a conformidade de todas as amostras analisadas com os padrões de identidade e qualidade exigidos pela legislação brasileira vigente para a cachaça.

As análises e os métodos utilizados, seguiram as recomendações feitas e estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), conforme a Instrução Normativa n.º 13, de 30 de junho de 2005, e manuais técnicos de referência.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão técnica e cultural da cachaça exige uma análise que integre desde suas raízes históricas até os rigorosos parâmetros de controle de qualidade exigidos atualmente. Enquanto produto genuinamente nacional, sua identidade é protegida por normas legais que estabelecem padrões de identidade e qualidade (PIQ), garantindo que a bebida mantenha suas características sensoriais e químicas dentro de limites seguros para o consumo e competitivos para o mercado (BRASIL, 2005). Para aprofundar esse entendimento, as seções a seguir percorrem o trajeto da bebida desde sua formação social até os aspectos laboratoriais que definem sua excelência se tornasse a principal fonte de renda da economia brasileira, contribuindo para o desenvolvimento dos povoados ao redor dos engenhos.

2.1 Cachaça: contexto histórico, econômico e cultural

2.1.1 Origem e evolução da cachaça no Brasil

A gênese da cachaça confunde-se com a própria estruturação político-econômica do Brasil Colônia a partir do século XVI. A introdução da cultura da cana-de-açúcar (**Saccharum officinarum**) por Martim Afonso de Sousa em 1532 estabeleceu a base agrícola dos engenhos (ANTONIL, 1982). Registros historiográficos indicam que as primeiras destilações intencionais do subproduto açucareiro ocorreram entre 1516 e 1526 em feitorias litorâneas como Pernambuco e posteriormente em São Vicente (CASCUDO, 1968). A bebida, inicialmente designada por sinônimas variadas e destinada às classes subalternizadas e ao escambo no tráfico negreiro, sofreu processos de resgate identitário, culminando na sua exaltação nacionalista durante a Semana de Arte Moderna de 1922 (SEBRAE, 2017).

Durante o começo da colonização no Brasil a produção açucareira apareceu com alguns relatos do século XVI ao descreve a cachaça como vinho de cana somente consumida pelos pobres e escravizados, portanto, primeiro grande empreendimento de exploração por volta de 1530. Nesse processo a mão de obra escrava foi amplamente utilizada o que aumentou as disputas das comunidades indígenas e o tráfico negreiro que se mostrou tanto desumano quanto lucrativo para coroa portuguesa. Sobre a cachaça não há data e local de origem, portanto são incertos como também seu processo de descoberta. (RAMOS, 2021).

No processo de fabricação do açúcar os escravizados realizavam a coleta da cana para ser feito o esmagamento do caldo, cozinhavam o caldo até que se transformasse em melaço, nesse processo de cozimento era fabricado um caldo mais grosso chamado bagaçada que era servido com sobras para os animais como alimento. A bagaçada com a ação do tempo se tornava uma bebida de forte teor alcoólico, diante desse fato surgiram teorias para explicar a descoberta da cachaça. (RAMOS, 2021.).

A primeira teoria seria que algum escravo acabou experimentando essa bebida e descobrindo suas propriedades recreativas (alcoólicas), a segunda teoria acostumados com a bagaceira(cana moída) que é um destilado português, passaram a produzir a cachaça como um substituto mais acessível, e a terceira teoria era que os escravos misturaram um melaço (mel de açúcar) velho fermentado com um melaço novo , essa mistura fez com que o álcool no melaço antigo evaporasse e formasse gotículas no teto do engenho pingando eventualmente a cachaça dando origem ao nome "pinga" essa teoria ainda afirma que ao pingar nós fermentos dos escravizados ardia bastante, dando origem ao nome água ardente. Não demorou muito para se

popularizar por toda colônia sendo exportada para o continente africano, servindo como moeda de troca na compra de escravos. (FELIPE VAN,2018).

Em 1600 durante a crise do açúcar e o arrocho colonial, o consumo da cachaça foi proibido pela coroa portuguesa com o intuito da restrição ao econômico já que a mesma competia com o vinho português no mercado interno. Durante essa proibição trouxe a Revolta da Cachaça 1660-1661. Já no século XIX com a emergente elite do café a cachaça passou a ser rejeitada pelos mais ricos que buscavam evitar os costumes europeus com isso ela ganha status de produto popular sendo bastante consumida pelos mais pobres que são a maioria da população brasileira. A partir da década de 80 e 90 iniciou-se uma série de iniciativa buscando valorizar a cachaça hoje considerada um produto tipicamente brasileiro, em 2016 ela foi reconhecida como patrimônio histórico do país sendo a terceira bebida destilada mais consumida no mundo, diante desse fato passou ter normas e padrões para o controle de qualidade do produto (BARROS, W. CACHAÇA DO BRASIL).

2.1.2 Importância econômica e cultural da produção artesanal

A cachaça possui papel econômico, social e cultural de grande relevância no Brasil. O setor movimenta expressivos valores e absorve considerável mão de obra, especialmente nos segmentos artesanal e semi-industrial (CHALITA, 2008). Segundo dados do CBRC (2022), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de destilados de cana, com estimativa de 1,4 bilhão de litros produzidos, dos quais parcela significativa é oriunda da produção artesanal.

A cadeia agroindustrial da cachaça desempenha papel proeminente no Produto Interno Bruto (PIB) do setor de bebidas nacional. Segundo dados consolidados pelo Centro Brasileiro de Referência da Cachaça (2022), a produção anual estimada atinge cifras bilionárias de litros, posicionando o país como um expressivo produtor global de destilados (CHALITA, 2008). O segmento artesanal destaca-se pela capacidade de gerar postos de trabalho diretos no campo, agregar valor através do turismo rural e preservar o patrimônio intangível e cultural de comunidades tradicionais.

A cachaça artesanal, produzida em pequenas propriedades com técnicas tradicionais e alambiques de cobre, apresenta características sensoriais distintas das versões industrializadas, conferindo-lhe valor diferenciado no mercado. Além do apelo

econômico, a bebida constitui elemento identitário nas comunidades produtoras, perpetuando saberes intergeracionais.

A mais conhecida das bebidas brasileiras, a cachaça é uma bebida destilada, típica e exclusivamente brasileira, que é obtida a partir da fermentação do caldo de cana-de-açúcar, que apresenta graduação alcoólica entre 38% e 48% a 20° C, podendo conter até 6g/L de açúcares adicionados, expressos em sacarose (Brasil, 2005). Atualmente, é considerada a terceira bebida destilada mais consumida no mundo e a primeira no Brasil, com produção estimada em 1,2 bilhão de litros em 2016, dos quais cerca de 25% correspondem à produção artesanal (IBRAC, 2016 apud GAMA, 2022).

2.1.3 Produção de cachaça no Maranhão e no Baixo Parnaíba

No Estado do Maranhão, de modo particular na região do Baixo Parnaíba, a manufatura de cachaça preserva técnicas marcadamente tradicionais e de baixa automação. A atividade manufatureira é conduzida por pequenos produtores rurais em agroindústrias familiares. Adicionalmente, verifica-se na região a aplicação desses saberes na destilação da tiquira — aguardente de mandioca obtida por hidrólise amilácea e fermentação —, o que evidencia a forte consolidação dos processos de destilação na matriz sociocultural regional.

Nessa região, coexistem alambiques de cobre e de aço inoxidável, refletindo a transição tecnológica impulsionada pelo elevado custo do cobre no mercado. Além da cachaça, produz-se também a tiquira, aguardente obtida pela fermentação e destilação da mandioca, que representa outra expressão da cultura de destilados artesanais locais.

Durante o processo de fabricação da cachaça, que envolve etapas como corte e moagem da cana, extração do caldo, fermentação e destilação, geralmente em alambiques de cobres ou aço inox. Estes materiais são utilizados devido à sua capacidade de reagir com compostos sulfurados, evitando que estes contaminem o destilado e conferindo-lhe melhor qualidade sensorial à bebida (SILVEIRA, 2008; SANTOS et al., 2011). Contudo a utilização do cobre pode ocasionar a contaminação da cachaça pelo metal, sendo necessária atenção à higienização e ao controle dos equipamentos utilizados na destilação (VIANA, 2016).

O cobre embora seja um elemento essencial para funções fisiológicas no organismo humano, em excesso pode provocar efeitos tóxicos, como distúrbios

gastrointestinais hepáticos e renais (SARGENTELLI et al., 1996; ECKKERT, 2014). Por essa razão, legislação brasileira estabelece limites máximos para a concentração do elemento nas bebidas, fixados em 5,0mg/L, enquanto normas internacionais estipulam valores mais restritos, em torno de 2,0mg/L (BRASIL, 2005).

A Determinação da presença de cobre em cachaças pode ser realizada por diferentes métodos analíticos, como espectrometria de absorção atômica, espectrometria de emissão atômica e espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (HERRADOR, 2001; OBREZKOV, 2000). Entretanto, em função do elevado custo desses métodos, a espectrofotometria UV-Vis tem sido amplamente empregada por apresentar sensibilidade adequada, simplicidade operacional e menor custo de implementação (AHMED et al., 2011; AMARAL et al., 2020).

De acordo com pesquisas realizadas nas mais diferentes regiões brasileiras tem mostrado variação significativa nos teores de cobre em cachaça artesanais, com alguns estudos apontando valores acima dos limites estabelecidos, o que reforça a necessidade de monitoramento constante e aplicação de boas práticas de fabricação, incluindo higienização periódica dos alambiques e uso de técnicas de filtração, como o carvão ativado, para reduzir a concentração do metal (GARBIN et al., 2005; VOLPE, 2013).

2.2 Matéria-prima e produção da cachaça artesanal

2.2.1 Cana-de-açúcar e composição química do caldo

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é a matéria-prima exclusiva da cachaça, sendo o caldo extraído de seus colmos o substrato da fermentação. O caldo de cana é composto majoritariamente por sacarose (14 a 24%), água, glicose, frutose, além de compostos nitrogenados, sais minerais, ácidos orgânicos e substâncias fenólicas que influenciam diretamente a qualidade do produto final (CARDOSO, 2013).

De acordo com Andrade (2004), a colheita da cana-de-açúcar reflete todo o trabalho desenvolvido e conduzido no campo ao longo do ciclo da cultura, culminando na entrega da matéria prima para que a mesma seja processada e contribua na obtenção de um produto final de qualidade. Outrossim, muitos agricultores utilizam o processo de queima, visando a fácil despalha e consequente redução da mão de obra empregada. Vitti & Mazza (2002) alertam que como efeito da queima, a formação de furfural e do hidroxiacetilfurfural (HMF) são compostos orgânicos formados

naturalmente pela desidratação de açúcares) no próprio caldo da cana compromete a fermentação e a formação de um produto final de qualidade, visto que tais compostos são regulados a níveis aceitáveis.

A variedade da cana, o estágio de maturação, as condições edafoclimáticas e o manejo da colheita interferem na composição do caldo e, conseqüentemente, nos parâmetros físico-químicos da cachaça. A colheita da cana representa o momento culminante do ciclo agrícola, e sua realização adequada é determinante para a qualidade da matéria-prima processada (ANDRADE; CARDOSO, 2004). O uso de fogo para despalha, prática comum em algumas regiões, pode comprometer a fermentação pela formação de furfural e hidroximetilfurfural no caldo (VITTI; MAZZA, 2002).

Assim, observa-se que o controle da qualidade físico-química da cachaça é de grande relevância tanto para a saúde do consumidor quanto para a competitividade da bebida no mercado internacional, visto que a adequação às normas vigentes é condição essencial para ampliar a exportação e consolidar a imagem da cachaça como produto genuinamente brasileiro.

2.2.2 Etapas da produção da cachaça artesanal

A produção artesanal de cachaça envolve etapas sequenciais que determinam a qualidade e as características sensoriais da bebida:

Moagem: o caldo é extraído da cana por meio de moenda ou engenho. Após a extração, o caldo deve passar por peneiras de malha fina ou tanques de decantação para remoção de impurezas como terra, bagacilho e insetos. Os equipamentos devem possibilitar fácil higienização (AMPAQ, 2015). Na região estudada, é comum o armazenamento do caldo em caixas d'água após a moagem, prática que contribui para maior higiene e facilita o transporte até os alambiques.

Fermentação: o processo fermentativo é iniciado com o preparo do fermento – que pode ser artesanal (leveduras naturais, farelo de arroz, suco cítrico e caldo de cana) ou químico (leveduras selecionadas). Adiciona-se ao caldo uma quantidade inicial denominada "pé de cuba" (10 a 20% da capacidade da dorna (é um recipiente fundamental nos alambiques, usado principalmente para as etapas de fermentação, decantação ou diluição do caldo de cana.)), obtendo-se o vinho ou vinhoto. A fermentação ocorre em duas fases: multiplicação celular com produção de etanol e gás carbônico, elevação de temperatura e aroma característico; seguida do

espelhamento do vinho, queda de temperatura e consumo dos açúcares disponíveis (AMPAQ, 2015).

Destilação: etapa responsável pela separação dos compostos voláteis formados na fermentação. O vinhoto é aquecido no alambique por vapor ou fôrnelha até atingir temperatura de ebulição entre 92,6 e 95,9°C (CRQ IV, s.d.). O controle da temperatura é crítico: temperaturas excessivas podem causar o "vômito" do alambique, comprometendo a qualidade do destilado. O destilado é dividido em três frações: cabeça (acima de 60° GL, rico em metanol, acetaldeído e outros voláteis indesejáveis), coração (38 a 60° GL, fração aproveitável com aroma e sabor típicos) e cauda (abaixo de 38° GL, com compostos fenólicos e ácidos orgânicos) (FURBINO, 2013).

Armazenamento: após a destilação, a cachaça pode ser envasada diretamente ou submetida a envelhecimento em tonéis de madeira, processo que confere características sensoriais adicionais ao produto.

A temperatura dentro do alambique influencia diretamente nos compostos presentes na cachaça onde diversos componentes podem ser liberados graças ao excesso de temperatura. Deste modo o alambiqueiro deve policiar o tempo todo à temperatura interna do alambique a fim de não colocar em ebulição compostos indesejáveis e dosar a quantidade de compostos como a água vista que a ebulição do vinhoto ocorre entre 92,60 e 95,9 °C (CRQ IV Região SP/MS).

2.2.3 Produção artesanal e produção industrial

A distinção tecnológica fundamental reside no regime operacional. Enquanto as unidades industriais operam em colunas de destilação contínua de grande porte visando maximizar o volume alcoólico comercializado, as unidades artesanais priorizam regimes descontínuos em alambiques de carga. O método artesanal propicia um monitoramento refinado dos compostos voláteis (congeneres), conferindo maior complexidade organoléptica, embora resulte em maior heterogeneidade entre lotes.

A cachaça artesanal se distingue da industrial pelos equipamentos utilizados, pela escala de produção e pelas características do produto final. A produção artesanal emprega alambiques de destilação simples e descontínua, enquanto a produção industrial utiliza colunas de destilação contínua. As cachaças artesanais tendem a

apresentar maior complexidade sensorial, enquanto as industrializadas priorizam padronização e volume (MAPA DA CACHAÇA, 2011).

2.3 Processo de destilação e materiais dos alambiques

2.3.1 Fundamentos químicos da destilação

A destilação baseia-se na diferença de volatilidade entre os componentes de uma mistura. No processo de produção da cachaça, o vinhoto – solução aquosa hidroalcoólica resultante da fermentação – é submetido a aquecimento controlado, permitindo a evaporação preferencial dos compostos de menor ponto de ebulição. O etanol (ponto de ebulição: 78,4°C) é separado da água (ponto de ebulição: 100°C), juntamente com outros compostos voláteis formados durante a fermentação, como álcoois superiores, ésteres, aldeídos, ácidos orgânicos e compostos sulfurados.

2.3.2 Alambique de cobre

O cobre (Cu) é o material tradicional utilizado na fabricação de alambiques para destilação de cachaça. Suas propriedades físico-químicas o tornam particularmente adequado para essa finalidade: alta condutividade térmica, que promove distribuição uniforme do calor; maleabilidade, que facilita a moldagem do equipamento; e resistência satisfatória à corrosão causada pelo vinho ácido e pelo calor (CARDOSO, 2013).

Imagem 1: Sistema de destilação com alambique de cobre



A principal vantagem técnica do cobre é sua ação catalítica: os íons de cobre reagem com compostos sulfurados presentes no vinhoto, especialmente o dimetilsulfeto (DMS) – principal responsável pelo odor desagradável de enxofre nas aguardentes –, convertendo-os em compostos insolúveis e removendo-os do destilado. Estudos demonstram que cachaças destiladas em alambiques de cobre apresentam menores teores de compostos sulfurados, o que contribui para melhor qualidade sensorial (SILVEIRA, 2008; SANTOS et al., 2011; MAPA DA CACHAÇA, 2011).

Como limitação, o cobre pode migrar para a bebida durante a destilação, especialmente quando o equipamento não é adequadamente higienizado. A legislação brasileira estabelece limite máximo de 5,0 mg/L de cobre para cachaças (BRASIL, 2005), enquanto normas internacionais fixam valores mais restritivos, em torno de 2,0 mg/L. A exposição ao cobre em excesso pode causar distúrbios gastrointestinais, hepáticos e renais (SARGENTELLI et al., 1996; ECKKERT, 2014). Adicionalmente, o elevado custo do metal no mercado atual representa barreira econômica para a aquisição e manutenção desses equipamentos.

além de ser feita de maneira artesanal, a Cachaça de Alambique não Contínuo, tem um outro grande “ingrediente” em sua composição: o alambique de cobre. Feita por um bom alambiqueiro, a Cachaça Artesanal feita neste equipamento é, segundo vários estudos, capaz de resultar em uma bebida mais fina e mais rica em sabores, aromas e cores: componentes sensoriais que fazem da Cachaça uma bebida com mais sabor. As cachaças destiladas em alambiques de cobre apresentaram teores de aldeídos e metanol superiores às cachaças destiladas em aço inox. Estudos acadêmicos comprovaram que os teores de dimetilsulfeto, alcoóis superiores e ésteres são maiores quando a destilação é feita em alambiques de aço inox. A utilização de aço inoxidável na construção de alambiques afeta as características sensoriais da aguardente, reduzindo a qualidade sensorial e produzindo um odor de enxofre desagradável no produto final. As reações químicas catalizadas pelo cobre nos alambiques, são capazes de reduzir significativamente os teores de dimetilsulfeto, o principal composto responsável pelo defeito sensorial das aguardentes de cana destiladas no inox (Mapa da Cachaça, 2011).

2.3.3 Alambique de aço inoxidável

O aço inoxidável tornou-se alternativa crescente ao cobre na fabricação de alambiques, em razão do seu menor custo, resistência à corrosão e vida útil elevada. Do ponto de vista químico, o aço inox é quimicamente inerte em relação ao destilado, não reagindo com os compostos presentes no vinho e não cedendo metais para a bebida.

No entanto, a inatividade química do aço inox representa também uma limitação: sem a ação catalítica do cobre, os compostos sulfurados não são eliminados

durante a destilação, permanecendo no destilado e conferindo sabor e odor indesejável de enxofre ao produto final. Estudos confirmam que cachaças destiladas em aço inox apresentam teores de dimetilsulfeto superiores aos observados em produtos destilados em cobre, além de maiores concentrações de álcoois superiores e ésteres (MAPA DA CACHAÇA, 2011; SILVEIRA, 2008).

Imagem 2: Alambique de aço inox



Na prática produtiva regional, observou-se que muitos produtores adotaram um sistema misto, mantendo o alambique principal em aço inox e conservando peças como a alonga e o capacete em cobre, de forma a aproveitar parcialmente a ação catalítica do metal.

2.3.4 Influência do material do alambique na qualidade da cachaça

A comparação entre alambiques de cobre e aço inox evidencia distintas influências na composição química e nas características sensoriais da cachaça.

Cachaças destiladas em cobre tendem a apresentar menores teores de compostos sulfurados e dimetilsulfeto, enquanto as destiladas em aço inox apresentam maiores concentrações desses compostos, bem como de álcoois superiores e ésteres (MAPA DA CACHAÇA, 2011). Aldeídos e metanol são detectados em maiores concentrações nas cachaças de cobre (SILVEIRA, 2008).

As alterações sensoriais decorrentes do material do alambique influenciam diretamente a percepção do consumidor, sendo a eliminação de compostos sulfurados pelo cobre o principal fator que distingue as cachaças produzidas nos dois sistemas.

2.4 Parâmetros físico-químicos e composição química da cachaça

2.4.1 Teor alcoólico

O teor alcoólico é um dos parâmetros mais importantes para a identidade da cachaça. A legislação brasileira estabelece que a cachaça deve apresentar graduação alcoólica entre 38,0% e 48,0% (v/v) a 20°C (BRASIL, 2005; MAPA, 2022). Esse parâmetro é determinado tanto na forma real – após correção por destilação – quanto na forma aparente – por leitura direta em alcoômetro.

2.4.2 Acidez volátil

A acidez volátil reflete a presença de ácidos orgânicos voláteis, predominantemente o ácido acético, formados durante a fermentação e a destilação. Valores elevados de acidez podem indicar falhas no processo fermentativo ou contaminação bacteriana. O limite estabelecido pela legislação é de 150 mg/100 mL de álcool anidro (BRASIL, 2005).

2.4.3 Ésteres totais

Os ésteres são compostos formados pela reação entre ácidos orgânicos e álcoois durante a fermentação. São responsáveis por parte do aroma frutal característico da cachaça artesanal. O acetato de etila é o éster predominante, com limite legal de 200 mg/100 mL de álcool anidro (BRASIL, 2005).

2.4.4 Aldeídos

Os aldeídos – especialmente o acetaldeído – estão presentes em maior concentração na fração cabeça do destilado. Em excesso, conferem sabor ardido e odor pungente indesejável. A legislação fixa limite máximo de 30 mg/100 mL de álcool anidro para acetaldeído (BRASIL, 2005).

2.4.5 Densidade relativa e °Brix

A densidade relativa a 20°C fornece informações sobre a composição global da bebida. O grau Brix indica a concentração de sólidos solúveis, principalmente açúcares. Em cachaças, valores elevados de Brix podem indicar presença de açúcar residual não fermentado, oxidação, ou adição não declarada de açúcares – prática vedada para a cachaça sem adição (MAPA, 2022).

2.5 Controle de qualidade e legislação da cachaça

2.5.1 Padrões de identidade e qualidade

A cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38,0 a 48,0% (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 até 6 g/L de açúcares expressos em sacarose (BRASIL, 2001; MAPA, 2022).

Com o advento e popularidade da cachaça, foi necessário criar uma legislação específica sobre o manejo, produção e envasamento da cachaça, o que permitiu assim, construir políticas de produção, e comércio da mais brasileira das bebidas.

No ano de 2005, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA aprovou o regulamento técnico a fim fixar os padrões de identidade e qualidade para a cachaça e para a aguardente de cana. Os padrões estabelecidos pelo MAPA (2005) discriminam sobre as especificidades químicas a serem utilizadas na produção tanto da aguardente de cana como na cachaça. Através da normativa de nº 13, foi possível distinguir a aguardente de cana de açúcar da cachaça, estabelecendo padrões de percentual de teor alcoólico, sendo que para a aguardente de cana, o teor deve ser de 38% a 54%.

O Decreto nº 4.062/2001 estabeleceu oficialmente a denominação e os requisitos gerais da bebida, enquanto a Instrução Normativa nº 13/2005 do MAPA fixou os padrões analíticos de identidade e qualidade, discriminando limites para teor alcoólico, acidez volátil, ésteres, aldeídos e demais compostos (BRASIL, 2005).

Em 2006, a Portaria MAPA nº 126 especificou requisitos a serem cumpridos pelos produtores em todas as etapas da cadeia produtiva, do campo ao armazenamento (MAPA, 2006). A conformidade com essas normativas é condição essencial para a comercialização legal e para a exportação da bebida.

Com o advento das legislações nacionais, a cachaça brasileira pode ser reconhecida não somente no mercado interno, como também nos mercados externos, permitindo que no ano de 2013, Brasil e Estados Unidos, onde se reconheceu a cachaça, como patrimônio do Brasil. Com esse reconhecimento aumentou-se as possibilidades de promoção da bebida no mercado norte americano, e facilitou também a sua exportação (PORTAL BRASIL, 2013).

3. METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como experimental, quantitativa e comparativa, com abordagem descritiva, visando analisar a influência do material do alambique (cobre, aço inox e misto) nos parâmetros físico-químicos da cachaça artesanal produzida nos municípios de Santa Quitéria e São Bernardo – MA. As análises e os métodos utilizados seguiram as recomendações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022), conforme a Instrução Normativa nº 13, de 30 de junho de 2005, e os manuais técnicos do LANAGRO (Laboratório Nacional Agropecuário é a rede de laboratórios oficiais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA- do Brasil).

3.1 Coleta das Amostras

3.1.1 Seleção dos locais e critérios

Os locais de coleta foram selecionados com base na existência de produção artesanal ativa e na disponibilidade de diferentes tipos de alambiques (cobre, aço inox e misto). Foram identificados produtores nos municípios de Santa Quitéria e São Bernardo – MA, priorizando aqueles com processo produtivo representativo da realidade regional.

3.1.2 Identificação e coleta das amostras

Foram coletadas três amostras de cachaça artesanal, sendo a amostra 1 condicionada dentro da embalagem de vidro, e as amostra 2 e 3 foram condicionadas em garrafas pet, denominadas Amostra 1, Amostra 2 e Amostra 3, conforme o tipo de alambique utilizado em sua produção, conforme indicado na Tabela 1:

Tabela 1. Identificação das amostras e tipo de alambique utilizado

Amostra	Tipo de Alambique
Amostra 1	Cobre

Amostra	Tipo de Alambique
Amostra 2	Aço Inoxidável
Amostra 3	Misto (aço/cobre)

Fonte: próprio autor, 2025

Cada amostra foi identificada, afim de conservação e de identificação para uma garantia das análises, as amostras foram acondicionadas em recipientes devidamente lacrados e mantidas em temperatura ambiente de 24°C até o momento das análises laboratoriais.

3.2 Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Química da Universidade Federal do Maranhão campus São Luís- MA, conforme os métodos oficiais estabelecidos pelo MAPA (2022), descritos no Manual de Métodos de Análises de Bebidas e Vinagres. Os parâmetros analisados compreenderam: teor alcoólico real e aparente, acidez volátil, ésteres totais, densidade relativa a 20°C e grau Brix.

A legislação brasileira estabelece critérios específicos para a caracterização da cachaça, definindo limites obrigatórios para alguns parâmetros considerados críticos, enquanto outros atuam como indicadores complementares da qualidade e do equilíbrio químico da bebida. Assim, a interpretação dos resultados analíticos deve ser realizada de forma integrada, considerando não apenas os valores numéricos estabelecidos em lei, mas também as orientações da literatura técnica especializada (CARDOSO, 2013; LIMA, 2010).

3.2.1 Determinação do Teor Alcoólico Real e Aparente (% vol. a 20°C)

O teor alcoólico aparente foi obtido por leitura direta em alcoômetro de Gay-Lussac, calibrado a 20°C, sem destilação prévia. O teor alcoólico real foi determinado após destilação da amostra, com medição da densidade do destilado a 20°C por picnômetro, conforme o método descrito no Manual do MAPA (2022). Ambos os parâmetros foram expressos em porcentagem volumétrica (% v/v).

3.2.2 Determinação da Acidez Volátil (mg/100 mL de álcool anidro)

A acidez volátil foi determinada pelo método de titulação ácido-base (acidimetria), utilizando solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 mol/L)

como titulante e fenolftaleína como indicador, conforme metodologia prevista nos manuais do LANAGRO. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido acético por 100 mL de álcool anidro. O destilado coletado foi titulado com solução aquosa padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 mol/L, adotando a fenolftaleína como indicador visual de ponto de viragem. Os valores foram expressos em miligramas de ácido acético por 100 mL de álcool anidro (mg/100 mL a.a.), conforme preconizado pela Equação 2:

$$\text{Acidez} = \frac{(V \times f \times 0,006 \times 100.000)}{(A \times TA)}$$

Onde V corresponde ao volume de solução de NaOH consumido (mL), f representa o fator de correção da solução titulante, A denota o volume de amostra destilada (mL) e TA exprime o teor alcoólico real corrigido da amostra.

3.2.3 Determinação de Ésteres Totais (mg/100 mL de álcool anidro)

A quantificação de ésteres totais foi realizada pelo método de saponificação (hidrólise alcalina), seguida de retrotitulação com ácido clorídrico (HCl), conforme metodologia do MAPA. Os resultados foram expressos em miligramas de acetato de etila por 100 mL de álcool anidro. Ressalta-se que a Amostra 3 apresentou acidez volátil excessivamente elevada, o que inviabilizou a realização desta análise nessa amostra por interferência na reação de hidrólise.

3.2.4 Densidade Relativa a 20°C

A densidade relativa foi determinada por meio de picnômetro de 25 mL, devidamente calibrado, com controle de temperatura a 20°C, conforme método oficial prescrito pelo MAPA (2022). O resultado é expresso como a razão entre a massa do líquido e a massa do mesmo volume de água, ambas a 20°C.

3.2.5 Grau Brix (°Brix)

O grau Brix indica a quantidade de sólidos solúveis em solução, expressa em gramas de sacarose por 100 gramas de solução. Neste trabalho, foi determinado por refratômetro óptico ajustado para leituras a 20°C, sendo utilizado como parâmetro

complementar de controle de qualidade para avaliação de possíveis açúcares residuais ou adições não declaradas (MAPA, 2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos Locais de Produção

4.1.1 Perfil dos produtores e área de estudo

Os municípios de Santa Quitéria do Maranhão e São Bernardo localizam-se na mesorregião do Baixo Parnaíba Maranhense, região de tradição agrícola com produção artesanal de cachaça consolidada historicamente. A atividade é desenvolvida por pequenos produtores rurais que cultivam a cana-de-açúcar e realizam todas as etapas do processo produtivo de forma artesanal ou semiartesanal, sendo a bebida uma importante fonte de renda para as famílias locais.

As famílias moram em pequenos sítios, situados nos povoados Baixa grande, Enxu na cidade de São Bernardo, e no povoado Roça Velha município de Santa Quitéria. Tais famílias vivem a base da agricultura familiar, plantando pequenas roças de feijão, milho e mandioca para a fabricação de farinha ou para a produção de tiquira, possuindo algumas cabeças de gado para subsistência. O cultivo da cana ainda é feito de forma manual, assim, como toda o processo de colheita. Os engenhos atuais funcionam através de um gerador movido a óleo diesel, que faz todo o trabalho de moenda.

Utilizam-se de transporte como moto, ou carro para escoarem a pequena produção de cachaça até os centros mais próximos, como a sedes dos municípios de Santa Quitéria, São Bernardo, Chapadinha, Tutoia e Parnaíba.

4.1.2 Tipos de alambique utilizados

Nos locais visitados, foram identificadas três configurações de alambiques: sistema integral de cobre (Amostra 1), sistema integral de aço inoxidável (Amostra 2) e sistema misto, com corpo do alambique em aço inox e peças como alonga e capacete em cobre (Amostra 3). Essa diversidade reflete a transição tecnológica em curso na região, motivada pelo aumento do custo do cobre no mercado.

4.1.3 Metodologia artesanal empregada

Em todos os locais analisados, o processo produtivo seguiu as etapas tradicionais: cultivo e colheita manual da cana, moagem em engenho a tração animal ou motor, fermentação espontânea com utilização de fermento artesanal e destilação em alambiques. O processo é conduzido de forma empírica, baseado na experiência transmitida entre gerações, sem monitoramento sistemático de temperatura ou graduação alcoólica durante a destilação.

Imagem 3: Fluxograma do processo produtivo da cachaça artesanal nos locais de coleta da amostra para esta pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor como auxílio do Gemini (Google).

Conforme discutido por Silva (2025), parâmetros como teor alcoólico e densidade relativa apresentam pouca influência do material empregado na fabricação do alambique, sendo mais dependentes das condições de fermentação e da padronização do destilado. Em relação à acidez, a autora destaca que alambiques de cobre tendem a favorecer a obtenção de cachaças com menores índices de acidez, em razão da ação catalítica desse metal durante a destilação. Por outro lado, destilados produzidos em alambiques de aço inoxidável podem apresentar maiores concentrações de ácidos não voláteis, resultando em valores mais elevados de acidez fixa (SILVA, 2025).

Segundo SAKAI, (2005- 2007), apud OLIVEIRA, (2010, p.10) No processo artesanal, a destilação é feita em alambiques de cobre e a fermentação é conduzida utilizando as leveduras naturalmente presentes no caldo de cana. O processo de destilação em alambique é descontínuo, por isso, a cada alambicada o destilado é separado em três porções. A primeira é a cabeça que corresponde de 5 a 10% do destilado total; a segunda o coração, 80% do destilado, e finalmente a cauda. A cabeça e a cauda são descartadas ou incorporadas a um novo vinho a ser destilado enquanto o coração corresponde à cachaça propriamente dita, contendo ao redor de 47,5%v/v de etanol, a 20°C (PINHEIRO et al., 2003).

4.2 Resultados das Análises Físico-Químicas

A caracterização físico-química constitui uma etapa essencial na avaliação da qualidade da cachaça, permitindo verificar sua conformidade com os padrões de identidade e qualidade estabelecidos pela legislação brasileira, além de fornecer informações sobre o processo de produção e as características do destilado.

Entre os parâmetros mais utilizados para esse controle destacam-se o teor alcoólico, a densidade relativa, o grau Brix, a acidez volátil e os ésteres totais, uma vez que refletem tanto a eficiência das etapas de fermentação e destilação quanto a composição final da bebida (CARDOSO, 2013; BRASIL, 2005; SILVA, 2025).

Neste estudo, foram determinados o teor alcoólico real e aparente, a densidade relativa, o grau Brix, a acidez volátil e os ésteres totais das amostras de cachaça produzidas em alambiques confeccionados com diferentes materiais. A comparação desses parâmetros possibilita avaliar se o material empregado na destilação exerce influência sobre as características físico-químicas da bebida, contribuindo para a compreensão de seus efeitos na qualidade do produto. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos a seguir, sendo confrontados com os limites estabelecidos pela legislação vigente e com informações disponíveis na literatura especializada.

Com o objetivo de verificar a influência do material do alambique na composição físico-química da cachaça, foram realizadas as determinações do teor alcoólico real e aparente, da densidade relativa, do grau Brix, da acidez volátil e dos ésteres totais nas amostras analisadas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2, e discutidos à luz da legislação vigente e da literatura especializada, buscando identificar possíveis diferenças entre as cachaças produzidas em alambiques de cobre e de aço inoxidável.

Conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a determinação desses atributos é indispensável para assegurar que a bebida atenda aos requisitos legais e técnicos definidos para a comercialização da cachaça como bebida típica e exclusiva do Brasil.

Assim, os parâmetros descritos a seguir, contribuem para a padronização do processo de fabricação, conforme descritos na Tabela 2:

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos das amostras de cachaça analisadas

Parâmetros	Amostra 1 (Cobre)	Amostra 2 (Aço Inox)	Amostra 3 (Misto)
Teor alcoólico real % vol. a 20°C	51,8	46,7	54,8
Teor alcoólico aparente % vol. a 20°C	54,0	49,0	57,0
Acidez volátil (mg/100 mL a.a.)	57,91	45,22	427,00
Ésteres totais (mg/100 mL a.a.)	152,00	45,22	–
Densidade relativa a 20°C	1,062	1,059	1,066
°Brix	16	15	17

Fonte: próprio autor, 2025

4.2.1 Teor alcoólico real

Conforme a Instrução Normativa n.º 13, de 29 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a cachaça deve ter uma graduação alcoólica variando entre 38,0% e 48,0% em volume (% v/v) a 20°C. Produtos com concentrações alcoólicas acima desse limite, mas dentro do teto de 54,0% v/v, não podem ser chamados de "cachaça", sendo classificados como "aguardente de cana" (MAPA, 2005).

A variação no teor alcoólico do produto final está diretamente relacionada às condições operacionais do processo de destilação. A literatura indica que erros no controle cinético e térmico das frações da destilação (cabeça, coração e cauda) podem levar à produção de produtos que não atendem às especificações atuais (BORTOLINI et al., 2021). A taxa de refluxo e a volatilidade dos compostos são afetadas pelo monitoramento inadequado da temperatura durante as etapas de aquecimento e condensação, resultando em uma retenção excessiva de etanol no produto destilado final. Ademais, as propriedades dos materiais utilizados nos

alambiques (como cobre, aço inoxidável ou sistemas mistos) afetam tanto a composição química e sensorial quanto a eficiência da troca térmica durante o processo (ALCARDE, 2014).

Com base no que foi apresentado, o objetivo deste estudo foi verificar a conformidade do teor alcoólico de diversas amostras de destilados comerciais com a legislação brasileira. Os resultados experimentais mostraram que somente a Amostra 2 (46,7% v/v), proveniente de alambique de aço inox, permaneceu estritamente dentro das normas legais. Por outro lado, as Amostras 1 (51,8% v/v) e 3 (54,8% v/v), originárias de alambiques de cobre e sistema misto, respectivamente, ultrapassaram o limite máximo permitido para a cachaça. Isso demonstra a necessidade de um controle térmico e operacional mais rigoroso nas destilações artesanais.

As Amostras 1 (51,8% v/v) e 3 (54,8% v/v) apresentaram teor alcoólico real acima do limite máximo estabelecido pela legislação brasileira para cachaça (38,0 a 48,0% v/v a 20°C), conforme a Instrução Normativa nº 13/2005 do MAPA. Somente a Amostra 2 (46,7% v/v), proveniente de alambique de aço inox, apresentou teor alcoólico dentro dos padrões legais. Esses resultados indicam que as cachaças produzidas em alambiques de cobre e no sistema misto apresentaram concentração alcoólica superior ao permitido para comercialização como cachaça, o que as classificaria como aguardente de cana, cujo limite superior é de 54% (v/v). O controle inadequado da temperatura durante a destilação pode explicar esses resultados.

Resultados semelhantes foram observados por Silva (2025) ao avaliar cachaças artesanais produzidas no município de São Bernardo – MA. A autora verificou que parte das amostras apresentou teor alcoólico fora dos limites estabelecidos pela legislação, atribuindo esse comportamento principalmente à ausência de controle da destilação e da padronização do destilado.

4.2.2 Teor alcoólico aparente

A determinação exata do teor alcoólico em bebidas destiladas é essencial para garantir a qualidade e cumprir os padrões de identidade definidos pela legislação em vigor. Contudo, a seleção do método analítico pode levar a diferenças consideráveis nos resultados alcançados. Na rotina de laboratórios e indústrias, a medição direta utilizando alcoômetros (densitometria) sem a necessidade de uma destilação prévia resulta no chamado "teor alcoólico aparente", um parâmetro que geralmente não corresponde à verdadeira concentração de etanol na amostra (ALCARDE, 2014).

Essa diferença analítica se deve ao princípio físico de operação dos alcoômetros de escala Gay-Lussac (°GL), calibrados para medir a densidade de misturas binárias hidraólicas, ou seja, compostas apenas por água e etanol. A presença de substâncias dissolvidas na bebida, frequentemente referidas como extrato seco (que inclui açúcares residuais, compostos fenólicos provenientes da madeira de envelhecimento e outros não alcoólicos), aumenta ou modifica a densidade do meio (BORTOLINI et al., 2021). Esse fenômeno afeta diretamente a flutuabilidade do instrumento, causando um efeito de superestimativa que oculta a leitura e faz com que o teor alcoólico aparente seja maior do que o teor alcoólico real (SOUZA; LIMA, 2019).

Para reduzir o impacto dessas substâncias interferentes e determinar o teor real, as normas oficiais de análise físico-química recomendam a destilação prévia da amostra antes de realizar a leitura densitométrica. Esse processo separa a mistura de etanol e água das substâncias não voláteis dissolvidas, assegurando a precisão exigida pelos órgãos de fiscalização, como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2005).

Neste estudo, o fenômeno da superestimativa causado por substâncias dissolvidas foi claramente evidenciado em todas as análises realizadas. O teor alcoólico aparente, medido sem a destilação prévia, mostrou-se maior do que o teor real em todas as amostras analisadas, alcançando 54,0% na Amostra 1, 49,0% na Amostra 2 e 57,0% na Amostra 3. Esses resultados destacam a importância de utilizar métodos oficiais rigorosos de destilação para caracterizar bebidas destiladas de forma confiável, prevenindo erros de classificação que possam afetar a comercialização legal do produto.

4.2.3 Acidez volátil

Segundo o Regulamento Técnico definido pela Instrução Normativa n.º 13/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a acidez volátil máxima permitida para cachaças e aguardentes de cana é de 150 mg/100 mL a.a. (BRASIL, 2005). Valores que permanecem dentro desse limite regulatório indicam que a fermentação foi realizada com um controle operacional adequado, reduzindo a presença de microrganismos indesejáveis. Em contrapartida, níveis de acidez significativamente altos são fortes indícios de contaminação por bactérias acéticas ou

láticas no mosto. Isso também pode ser resultado de problemas no manejo da matéria-prima ou atrasos na destilação do vinho (CARDOSO, 2013).

É essencial monitorar os parâmetros químicos ao longo da produção de cachaças e aguardentes para assegurar a qualidade sensorial e a segurança do produto final. Dentre esses parâmetros, a acidez volátil se sobressai como um dos principais sinais de conformidade higiênico-sanitária do processo de produção. A acidez volátil, expressa em miligramas de ácido acético por 100 mL de álcool anidro (mg/100 mL a.a.), indica diretamente as condições das etapas de fermentação e destilação (MAIA, 1994).

Em seu estudo realizado com cachaças artesanais produzidas em São Bernardo – MA, Silva (2025) também destaca a acidez volátil como um dos principais indicadores da eficiência da fermentação e das condições higiênico-sanitárias do processo produtivo, ressaltando que valores elevados estão associados a falhas operacionais e à contaminação microbiológica.

A elevada presença de ácidos voláteis não só afeta as propriedades organolépticas da bebida, conferindo-lhe um odor e sabor acético desagradáveis, mas também impõe desafios significativos nas rotinas de análise laboratorial. A presença excessiva de compostos acidificantes modifica o equilíbrio químico do meio, causando interferências significativas em reações analíticas fundamentais, como a hidrólise, que é necessária para a quantificação de ésteres totais (VENTURINI FILHO, 2010). Os ésteres são compostos secundários essenciais para o buquê aromático do destilado, e sua mensuração é impossível, o que torna inviável a caracterização analítica completa do produto.

No estudo atual, o perfil de acidez volátil mostrou realidades divergentes entre os sistemas de produção examinados. As Amostras 1 (57,91 mg/100 mL a.a.) e 2 (45,22 mg/100 mL a.a.) estiveram em total conformidade com o limite legal estabelecido (BRASIL, 2005). No entanto, a Amostra 3 (427,00 mg/100 mL a.a.), originária do sistema misto, ultrapassou de forma significativa o padrão regulatório, alcançando um valor quase três vezes superior ao máximo permitido. Essa grave discrepância sugere uma possível contaminação bacteriana ou uma falha operacional significativa no processo de produção da amostra em questão. Esse comportamento também foi observado por Silva (2025), que verificou variações expressivas na acidez volátil entre cachaças produzidas na mesma região, evidenciando que diferenças no

manejo da fermentação e na condução da destilação influenciam diretamente esse parâmetro.

4.2.4 Ésteres totais

Os compostos voláteis secundários encontrados em bebidas destiladas são fundamentais para determinar sua identidade organoléptica. Dentre essas substâncias, os ésteres totais se sobressaem como o grupo mais relevante em termos quantitativos para a criação do bouquet aromático da cachaça, pois proporcionam ao produto notas frutadas e florais muito apreciadas (AQUINO et al., 2006). A concentração e a composição desses ésteres são afetadas por várias condições do processo, desde a seleção das cepas de leveduras na fermentação até, de maneira significativa, o material utilizado na construção do alambique durante a destilação.

A fim de assegurar a qualidade e a uniformidade do destilado nacional, a Instrução Normativa n.º 13/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) determina que o teor de ésteres totais não pode ultrapassar o limite máximo de 200 mg/100 mL de álcool anidro (mg/100 mL a.a.) (BRASIL, 2005). Embora a criação de um limite legal tenha como objetivo prevenir defeitos sensoriais decorrentes do excesso de compostos voláteis, níveis muito baixos de ésteres também representam um problema de qualidade, pois levam a bebidas com menor complexidade aromática e reduzida expressividade sensorial (CARDOSO, 2013).

A literatura científica indica que o tipo de material utilizado no alambique afeta diretamente o perfil de congêneres da bebida. O cobre desempenha um papel fundamental como catalisador químico, facilitando reações de oxidação e complexação que ajudam a reduzir compostos sulfurados indesejáveis e favorecem o equilíbrio na produção de ésteres e aldeídos (ALCARDE, 2014). Por outro lado, destiladores feitos de aço inoxidável não realizam essa atividade catalítica, pois são quimicamente inertes. Como resultado, as taxas de refluxo e as reações químicas secundárias variam consideravelmente, geralmente levando à formação de perfis de destilação diferentes dos produzidos no sistema tradicional de cobre (CARDOSO, 2013).

Sendo assim, a quantificação de ésteres totais demonstrou como essas dinâmicas de destilação afetam o produto final. A Amostra 1, produzida em alambique de cobre, exibiu um teor de ésteres de 152,00 mg/100 mL a.a., permanecendo em total conformidade com o limite regulatório atual (BRASIL, 2005). Por outro lado, a

Amostra 2, originária de um alambique de aço inox, apresentou uma concentração consideravelmente menor, cerca de 45,22 mg/100 mL a.a. A significativa redução observada no sistema de aço inoxidável está em consonância com as discussões na literatura sobre a menor eficácia desse material em promover reações que enriquecem o perfil aromático. Isso sugere um possível impacto negativo na qualidade sensorial da bebida, devido à sua menor complexidade volátil.

4.2.5 Densidade relativa

A medição da densidade relativa e do teor de sólidos solúveis totais (em graus Brix) é um procedimento crucial para atestar a pureza e a conformidade físico-química de bebidas alcoólicas. Em soluções hidroalcoólicas completas, a densidade é determinada apenas pela relação entre água e etanol, de forma que, à medida que a concentração de álcool aumenta, a densidade do líquido tende a diminuir (BORTOLINI et al., 2021). No entanto, a presença de compostos não voláteis dissolvidos muda completamente essa relação física, alterando o comportamento hidrodinâmico e a densidade da bebida.

O aumento da densidade e do Brix de cachaças e aguardentes é, frequentemente, um sinal de que açúcares foram adicionados. Essa adição pode ser intencional, visando ao adoçamento — o que é permitido e regulado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) —, ou pode ocorrer de maneira natural, durante a maturação, pela obtenção de substâncias de reserva e monossacarídeos das aduelas de madeira dos barris de envelhecimento (SORA et al., 2012). De qualquer forma, o acúmulo dessas substâncias aumenta a concentração de sólidos solúveis no meio, afetando de maneira direta as propriedades coligativas e a densidade da solução final (SILVA; SILVA, 2018).

A supervisão conjunta desses dois parâmetros (densidade e Brix) atua como uma ferramenta valiosa para o diagnóstico analítico. Se uma amostra apresenta valores de massa específica que não correspondem ao seu teor alcoólico, a análise refratométrica do Brix serve como uma contraprova para determinar se a anomalia na densidade é causada por uma alta concentração de extrato seco ou por outros solutos que interferem na leitura convencional da densidade (BORTOLINI et al., 2021).

As propriedades físicas das amostras investigadas neste estudo evidenciaram de maneira clara o fenômeno de interferência por solutos. As densidades obtidas foram anormalmente elevadas, com índices de 1,062 para a Amostra 1, 1,059 para a

Amostra 2 e 1,066 para a Amostra 3, todas acima do que se esperava teoricamente para cachaças com as respectivas graduações alcoólicas. Esse aumento na densidade da solução é um indicativo forte de que há uma grande quantidade de substâncias dissolvidas — principalmente açúcares e outros compostos orgânicos —, hipótese essa fortemente corroborada pelos elevados índices de Brix observados durante os experimentos.

4.2.6 Grau Brix

A determinação dos sólidos solúveis totais, em graus Brix (°Brix), é um parâmetro analítico complementar que se revela de grande importância na avaliação da autenticidade e do padrão tecnológico de bebidas destiladas. Na cachaça e na aguardente de cana, tanto as obtidas por destilação tradicional quanto as que não passaram por alterações posteriores, o valor de °Brix tende a ser muito próximo de zero, já que o processo de destilação serve para purificar os compostos voláteis (como água e etanol), enquanto os açúcares e compostos macromoleculares não voláteis permanecem no resíduo do destilador (MENDONÇA et al., 2016).

A legislação brasileira em vigor não define um limite numérico para o índice de Brix em cachaças tradicionais, mas o Ministério da Agricultura e Pecuária acompanha esse parâmetro como um meio orientador para a fiscalização e o controle de qualidade (BRASIL, 2022). A identificação de níveis anormalmente altos de sólidos solúveis é um forte indicativo de que houve algum desvio de operação ou adulteração do produto, o que exige uma investigação detalhada em campo e no laboratório.

A literatura científica menciona três maneiras principais de explicar a anômala elevação do °Brix em bebidas destiladas. A primeira é a que apresenta açúcares residuais na matéria-prima, resultante de uma fermentação incompleta em que as leveduras não transformaram toda a sacarose, glicose e frutose em etanol (ZACARONI et al., 2011). A segunda possibilidade é a adição intencional de açúcares ao produto final, prática que, caso exceda o limite legal de 6 g/L, descaracteriza a cachaça convencional, obrigando-a a ser chamada como "cachaça adoçada". Por último, altas concentrações podem indicar uma oxidação intensa e uma contaminação microbiológica do mosto, que resulta na produção de subprodutos orgânicos pesados, elevando tanto a acidez total quanto a volátil do meio (MENDONÇA et al., 2016).

O perfil refratométrico da amostra em estudo mostrou, em comparação ao comportamento típico do destilado nacional, discrepâncias significativas. Os valores

de °Brix obtidos nas amostras analisadas variaram entre 15 e 17. Esse nível é considerado bastante atípico para cachaças que não têm a adição de sacarose declarada, servindo como um forte indicativo de que houve uma irregularidade no processo de produção ou na elaboração da bebida. Estes achados ressaltam a importância de se utilizar o °Brix como parâmetro complementar obrigatório nos protocolos de controle de qualidade, a fim de evitar falhas fermentativas ou adoçamento não declarado.

4.3 Influência do Material do Alambique na Composição Química

4.3.1 Influência do cobre

A qualidade multidimensional da cachaça e da aguardente de cana é o resultado de uma intrincada teia de interações entre fatores microbiológicos, operacionais e estruturais. Entre os fatores estruturais, o material utilizado para construir o alambique é um dos principais influenciadores da composição química do destilado final. Historicamente, o cobre sempre foi o material mais utilizado na destilação de bebidas finas, uma vez que possui a peculiaridade de interagir quimicamente com os vapores hidroalcoólicos que se elevam (SILVEIRA, 2008).

A razão pela qual o cobre é melhor do que um material quimicamente inerte, como o aço inoxidável, é devido ao seu efeito catalítico. O cobre age como um catalisador na destilação, favorecendo reações de oxidação e esterificação que aumentam significativamente o nível de ésteres totais, que são compostos secundários diretamente ligados às notas frutadas e à complexidade do aroma da bebida (SANTOS et al., 2011). Simultaneamente, esse metal tem a importante função de estabilizar e desestabilizar compostos sulfurados voláteis, como o dimetilsulfeto, que são responsáveis por causar odores de redução e que reduzem significativamente a aceitação sensorial do produto (SILVEIRA, 2008).

No entanto, além dos materiais que compõem o equipamento, é essencial que o controle das variáveis operacionais da destilação seja rigoroso para que o produto esteja em conformidade com as normas. A cuidadosa separação das frações do destilado — cabeça, coração e cauda —, feita através do correto manejo do "ponto de corte", não só define o perfil de congêneres como também a graduação alcoólica final da bebida (SANTOS et al., 2011). Erros ou imprecisões no ponto exato desse corte podem levar à retenção excessiva de frações ricas em etanol, aumentando o teor alcoólico real para além dos limites legais brasileiros.

Neste trabalho, a partir dos dados analíticos obtidos, ficou clara a influência do material constituinte do alambique de destilação e do monitoramento durante a operação. Os resultados obtidos experimentalmente para a Amostra 1, que foi destilada em alambique de cobre, mostraram que ela possui um teor de ésteres totais superior ao da Amostra 2, que foi destilada em alambique de aço inoxidável, o que confirma de forma empírica os mecanismos catalíticos mencionados na literatura especializada. Apesar de toda a otimização do perfil aromático, a Amostra 1 apresentou um teor alcoólico superior ao limite legal permitido, o que evidenciou de forma clara a urgência de um controle técnico mais rigoroso no ponto de corte durante as etapas de fracionamento da destilação artesanal.

4.3.2 Influência do aço inoxidável

A seleção dos materiais construtivos dos alambiques de pequenas e médias destilarias é um fator decisivo para a composição química e a assinatura sensorial da cachaça. Se os alambiques tradicionais de cobre são os protagonistas da produção artesanal, tanto pelo seu valor histórico quanto pelo seu valor químico, cada vez mais se utiliza aço inoxidável. O interesse em utilizar aço inox decorre de benefícios práticos na engenharia de processos, como uma menor complexidade na assepsia laboratorial, uma durabilidade estrutural superior e a inexistência de problemas relacionados à contaminação por excesso de cobre no produto final (AQUINO et al., 2006).

Em termos dos parâmetros Físico-químicos, o aço inoxidável é um material quimicamente inerte. Essa particularidade reflete a estabilidade dos compostos voláteis principais e pode ajudar o destilado a se alinhar com mais frequência aos parâmetros normativos essenciais definidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), especialmente no que diz respeito à manutenção do teor alcoólico real na faixa legal permitida (38,0 a 48,0% v/v) e ao controle de desvios térmicos que aumentam a acidez volátil (BRASIL, 2005).

No que diz respeito ao aspecto organoléptico, a inércia química do aço inoxidável se traduz em desvantagens significativas. Como não há a ação catalítica típica do cobre, não se promovem reações secundárias de oxidação e esterificação na fase vapor, o que muitas vezes resulta em bebidas com menores teores de ésteres totais e, por conseguinte, com um perfil sensorial menos complexo aromaticamente (ALCARDE, 2014). Além disso, a ausência de contato com o cobre desativa o

mecanismo que fixa substâncias voláteis indesejadas. Sem essa catálise, aumenta consideravelmente a chance de que compostos sulfurados de baixo ponto de ebulição, como o dimetilsulfeto, permaneçam no produto, o que resulta em odores indesejados de redução e afeta negativamente a aceitação do destilado no mercado (CARDOSO, 2013).

Neste estudo evidenciou-se a dualidade analítica que permeou a escolha dos materiais de destilação. A Amostra 2, oriunda de um sistema construído em aço inox, sobressaiu positivamente por ser a única que se manteve rigorosamente dentro dos limites alcoólicos legais e por ter o menor índice de acidez volátil do escopo experimental. No entanto, o baixo nível de ésteres encontrado nessa amostra levantou um alerta tecnológico, sugerindo um perfil sensorial que pode ser menos complexo. Isso confirma o que a literatura sugere sobre as limitações do aço inoxidável, uma vez que remover a atividade catalítica do cobre resulta em um menor enriquecimento aromático e aumenta os riscos de danos qualitativos devido a compostos sulfurados residuais.

4.3.3 Sistema misto

Para se produzir uma cachaça de alta qualidade mercadológica e dentro da legalidade, é indispensável que a condução da fermentação esteja em sinergia estreita com a configuração do sistema de destilação. Se a fermentação é o que determina a carga de compostos voláteis e ácidos orgânicos no vinho, a destilação é o processo que fraciona e purifica esses compostos. A indústria de bebidas começou a adotar "sistemas mistos", nos quais colunas de aço operam acopladas a componentes ou deflegmadores de cobre, em uma tentativa de encontrar soluções mais econômicas que unissem a durabilidade do aço inoxidável e os benefícios químicos do cobre (RECHE et al., 2012).

No entanto, a eficácia desses sistemas híbridos é um tema bastante discutido na literatura científica. O cobre é um catalisador heterogêneo indispensável para as reações de esterificação e para a complexação de compostos sulfurados indesejáveis (NASCIMENTO et al., 2008). No entanto, para que esses processos catalíticos aconteçam de maneira eficiente, é fundamental que haja tempos de contato e superfícies metálicas expostas adequados entre a fase vapor e o metal. A introdução parcial do cobre na linha de destilação pode não ser suficiente para replicar os efeitos

positivos e atenuadores observados em alambiques totalmente construídos com o metal (RECHE et al., 2012).

Esse problema estrutural se agrava quando se considera o controle deficiente da fase biológica. Quando ocorrem falhas de assepsia ou desvios de temperatura durante a fermentação, é possível que bactérias contaminantes se desenvolvam, o que aumenta significativamente os níveis de acidez volátil no mosto (NOVAES, 2014). Carga ácida excessiva carga o sistema de destilação, levando a desvios no real e causando um ambiente químico hostil que sabota reações analíticas elementares de controle de qualidade, como a formação de ésteres por hidrólise alcalina (NASCIMENTO et al., 2008).

O presente estudo deixou clara a vulnerabilidade estrutural e operacional desse arranjo tecnológico. A Amostra 3, que foi processada de acordo com o modelo de sistema misto, obteve os piores resultados analíticos gerais da pesquisa: apresentou um teor alcoólico que não estava de acordo com os limites legais atuais, teve índices criticamente altos de acidez volátil, o que impediu a realização da análise de ésteres totais. Esses resultados experimentais indicam que a presença parcial do cobre não consegue oferecer o suporte catalítico que se espera de destiladores integrais, evidenciando que as falhas de engenharia nos equipamentos agravam significativamente os danos resultantes de um processo fermentativo sem o controle microbiológico necessário.

4.4 Comparação dos Resultados com a Legislação Vigente

A indústria de destilados de cana-de-açúcar não pode dispensar o controle físico-químico de qualidade, pois se trata de um requisito legal que é essencial para a classificação e a conformidade do produto no mercado consumidor nacional. A definição dos padrões de identidade e qualidade (PIQ) é feita pela Instrução Normativa nº 13, datada de 29 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que impõe limites severos para características estruturais e sensoriais da bebida, como graduação alcoólica, acidez volátil e teor de ésteres totais (BRASIL, 2005). O desequilíbrio entre essas variáveis sugere problemas graves no manejo biológico ou na engenharia de destilação.

A Tabela 3 apresenta a síntese da conformidade dos parâmetros analisados em relação aos limites estabelecidos pela legislação brasileira (Instrução Normativa MAPA nº 13/2005):

Tabela 3. Conformidade das amostras com os limites legais vigentes

Parâmetro	Limite legal	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Teor alcoólico real (% v/v)	38,0–48,0	51,8 X	46,7 ✓	54,8 X
Acidez volátil (mg/100 mL a.a.)	≤ 150	57,91 ✓	45,22 ✓	427,00 X
Ésteres totais (mg/100 mL a.a.)	≤ 200	152,00 ✓	45,22 ✓	N/A

Fonte: próprio autor, 2025. (✓) Conforme; (X) Não conforme.

Quanto ao teor alcoólico real, a cachaça só pode receber tal nomenclatura se o normativo brasileiro permitir uma faixa obrigatória de 38,0 a 48,0% em volume (% v/v) (BRASIL, 2005). No presente estudo, a Amostra 2 atingiu esse padrão ao apresentar 46,7% v/v. Por outro lado, as Amostras 1 (51,8% v/v) e 3 (54,8% v/v) ultrapassaram o limite máximo permitido, o que, de acordo com a literatura do setor, se deve a falhas no ponto de corte das frações hidroalcoólicas, o que levaria à sua desclassificação para fins comerciais, com a Amostra 3 sendo classificada como aguardente de cana, cujo limite tolerado é de 54,0% v/v (ALCARDE, 2014).

A acidez volátil (em mg de ácido acético por 100 mL de álcool anidro) é um termômetro sanitário em relação à higienização e à condução fermentativa, com um limite legal de até 150 mg/100 mL a.a. (BRASIL, 2005). As Amostras 1 (57,91 mg/100 mL a.a.) e 2 (45,22 mg/100 mL a.a.) estavam confortavelmente dentro dos limites, indicando um processo biológico controlado, mas a Amostra 3 apresentou uma grave inconformidade com 427,00 mg/100 mL a.a.. Esses valores indicam uma contaminação bacteriana significativa no mosto (CARDOSO, 2013).

Finalmente, os ésteres totais, que conferem à bebida sua complexidade aromática, devem ter um limite de 200 mg/100 mL a.a. (BRASIL, 2005). A Amostra 1 (152,00 mg/100 mL a.a.) e a Amostra 2 (45,22 mg/100 mL a.a.) estão dentro do limite estabelecido pela regulamentação, mas a diferença entre as duas ilustra o já conhecido efeito catalítico positivo do alambique de cobre em comparação ao de aço inoxidável (SANTOS et al., 2011). No que tange à Amostra 3, entretanto, a quantificação deste parâmetro se tornou impossível (N/A) em razão da intensa acidez acética que interferiu na reação analítica de hidrólise. Os resultados obtidos neste estudo são claros: apenas a Amostra 2 alcançou plena conformidade em relação aos

parâmetros testados, evidenciando a necessidade urgente de melhorias operacionais nos outros sistemas produtivos que foram avaliados.

A relação entre as variáveis operacionais e os desvios físico-químicos observados nas amostras evidencia a complexidade do processo de produção de destilados de cana-de-açúcar. O fato de duas das três amostras analisadas apresentarem teores alcoólicos fora dos limites regulamentares ressalta um ponto crítico que é recorrente na destilação artesanal e de pequeno porte. Como afirmam Bortolini et al. (2021), a destilação vai muito além de uma simples separação física, sendo uma verdadeira operação de refino químico e sensorial. Quando o operador não consegue acompanhar em tempo real a temperatura e a densidade do destilado, é possível que frações tardias da "cabeça" (ricas em compostos voláteis indesejáveis e alto teor de etanol) ou iniciais do "coração" se misturem de maneira inadequada, o que distorce a graduação final do produto.

Além disso, as informações contidas na Tabela 3 apresenta a síntese da conformidade dos parâmetros analisados em relação aos limites estabelecidos pela legislação brasileira indicam que os desvios não se manifestam de maneira isolada. A Amostra 3, por sua vez, representa o que há de pior em termos de tecnologia: o desalinhamento entre o teor alcoólico (54,8% v/v) e a assustadora acidez volátil (427,00 mg/100 mL a.a.) ocorre de forma conjunta, evidenciando um efeito dominó que começa nas dornas de fermentação (NASCIMENTO et al., 2008). A alta acidez acética é um indicativo de que o mosto foi severamente contaminado por microrganismos invasores que competem com as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* pelo açúcar disponível, produzindo subprodutos que comprometem o rendimento e a adequada volatilização do etanol na etapa seguinte do processo misto.

Outra limitação analítica imposta por amostras degradadas é um fator crucial que a triagem laboratorial consegue identificar. A incapacidade de medir os ésteres totais na Amostra 3 devido à acidez elevada revela a fragilidade dos métodos oficiais de espectrofotometria ou volumetria por saponificação. O excesso de íons ácidos e de ácido acético livre, como aponta Venturini Filho (2010), oculta o ponto de viragem e consome, de maneira preferencial, os reagentes que deveriam participar da reação de hidrólise dos ésteres. Esse bloqueio analítico torna impossível traçar um perfil de qualidade da amostra e, conseqüentemente, impossibilita sua certificação para exportação, dado que o mercado externo exige uma rastreabilidade total dos congêneres.

Por último, a análise comparativa entre as Amostras 1 e 2 confirma que, apesar de estarem em conformidade com a legislação na maioria dos parâmetros, a seleção do material de construção é o que define a identidade sensorial da bebida. Comparando as amostras, o teor de ésteres na Amostra 1 (152,00 mg/100 mL a.a.), obtida com cobre, é consideravelmente maior do que os 45,22 mg/100 mL a.a. da Amostra 2, que foi processada em aço inox. Essa diferença torna válida a ideia de que, apesar dos alambiques de aço inoxidável proporcionarem maior assepsia, durabilidade e um custo de manutenção inferior, é preciso implementar outros ajustes operacionais — como o uso de recheios de cobre nas colunas ou taxas de refluxo diferenciadas — para que eles possam competir em complexidade aromática e aceitação de mercado com os tradicionais de cobre (ALCARDE, 2014).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram avaliadas as influências do material do alambique (cobre, aço inox e sistema misto) sobre a composição físico-química de cachaças artesanais produzidas nos municípios de Santa Quitéria e São Bernardo – MA, considerando os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação em vigor.

Quanto aos objetivos específicos, foram mapeados e caracterizados os locais de produção, destacando a tradição artesanal na região do Baixo Parnaíba Maranhense e a coexistência de diversas configurações de alambiques. Foram elucidados os processos químicos envolvidos na destilação, com ênfase na importância da ação catalítica do cobre na eliminação de compostos sulfurados e na otimização das propriedades sensoriais da bebida.

Foram determinados os parâmetros físico-químicos nas três amostras, com variações marcantes entre elas. A análise dos ésteres totais revelou que a cachaça produzida em alambique de cobre (Amostra 1) apresenta uma maior concentração, alinhando-se ao que é relatado na literatura científica. A Amostra 3, oriunda de um sistema misto, apresentou uma acidez volátil que excedeu em muito o limite legal, sinalizando um problema no processo de fermentação.

Em comparação com a legislação atual, nenhuma das amostras se mostrou capaz de atender completamente a todos os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa MAPA nº 13/2005. A Amostra 1 e a Amostra 3 tiveram teor alcoólico superior ao limite máximo estabelecido para cachaça, e a Amostra 3 também teve acidez volátil muito acima do permitido. A única amostra que apresentou teor alcoólico dentro dos padrões legais foi a Amostra 2.

No que diz respeito ao objetivo geral, os achados evidenciam que o material de fabricação do alambique impacta a composição físico-química da cachaça artesanal, especialmente em relação ao cobre, que favorece a criação de ésteres e diminui a presença de compostos indesejáveis. No entanto, é claro que o controle sobre o processo de produção – principalmente no que diz respeito à fermentação e ao momento da interrupção durante a destilação – é igualmente crucial para garantir a qualidade e a conformidade legal do produto.

Os produtores da região são aconselhados a investir na adoção de boas práticas de fabricação, no monitoramento sistemático dos parâmetros de processo e na higienização adequada dos equipamentos, com o objetivo de melhorar a qualidade,

garantir a conformidade legal e valorizar a cachaça artesanal do Baixo Parnaíba Maranhense tanto no mercado regional quanto no nacional.

Como perspectiva para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar o número de amostras e de unidades produtoras avaliadas, incluindo diferentes safras e regiões produtoras. Também são sugeridos estudos que investiguem a influência das condições de fermentação, do controle da destilação e da higienização dos alambiques sobre a composição físico-química e a qualidade sensorial da cachaça, bem como a determinação de contaminantes, como cobre, carbamato de etila e metanol.

Referências:

ALCARDE, André Ricardo. **Cachaça**: ciência, tecnologia e produção. São Paulo: Blucher, 2014.

ANDRADE, L.A. de B.; Cardoso, M.B. *Cultura da cana de açúcar*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.

AQUINO, Gilwagner Rodrigues de et al. Perfil de compostos voláteis e de contaminantes da cachaça produzida em alambiques de cobre e de aço inox. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 145-150, 2006.

BARBOSA, Flavio. Cachaça não é água, não? A sinonímia da cachaça na cultura brasileira. **Idioma**, n. 30, p. 102-115, 2016.

BARRETO, Juliano. **Mussum Forevis: Samba, mé e Trapalhões**. São Paulo, Leya, 432 p. 2014.

BRASIL, Republica do. **DECRETO Nº 4.062, DE 21 DE DEZEMBRO DE 2001**.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4062.htm, acesso em 21 de agosto de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Manual de métodos oficiais de análise de bebidas e vinagres**. Brasília, DF: MAPA, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e 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: seção 1, Brasília, DF, 30 jun. 2005.

BORTOLINI, Diego G.; SILVA, Franciele A.; MACHADO, Roberto M. Influência das variáveis operacionais na destilação de aguardente de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, v. 38, n. 2, p. 112-125, 2021

CARDOSO, Valdir G. **Tecnologia da produção de cachaça de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Livraria Varela, 2013.

CARDOSO, M. G. Análises físico-químicas de aguardente. In: **Produção de aguardente de cana**. 3. ed. rev. e ampl. Lavras: Editora UFLA, 2013.

CENTRO BRASILEIRO DE REFERENCIA DA CACHAÇA. (2012). Números da Cachaça. Disponível em <http://www.expocachaca.com.br/bh/numeros-da-cachaca.shtml>. Acesso em 12 de outubro de 2022.

CHALITA, M. A. N.. A construção social e econômica do gosto e da preferência, o valor simbólico da mercadoria e o desempenho das exportações de cachaça.

Informações Econômicas, SP, v.38, n.5, maio 2008. Disponível em:

<http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/tec2-0508.pdf> , acesso em 20 de outubro de 2022.

CRQ IV Região SP/MS. **Tecnologia de Produção da cachaça**. Disponível em http://www.crq4.org.br/downloads/tec_cachaca.pdf. Acesso em 20 de outubro de 2022.

JUNIOR, R.N et al. **A História e a Química da Cachaça**. Atena Editora: Miguel Ruiz- PR, 2021. Disponível em:

https://cdn.atenaeditora.com.br/artigos_anexos/EBOOKAHistriaeaQumicadaCachaa_92dc1fa6e3fcc0fe69e7be0f0975f793955291e8.pdf, acesso em 01 de agosto de 2022.

FEITOSA, Patrícia Cristina Leite. **A CACHAÇA COMO IDENTIDADE CULTURAL**.

Universidade de Brasília, Brasília- DF:2005. Disponível em:

https://bdm.unb.br/bitstream/10483/620/1/2005_PatriciaCristinaLeiteFeitosa.pdf, acesso em 20 de outubro de 2022.

FOLEGATTI, Myrtes Maria da Silva. **A imagem da cachaça no Brasil e no exterior: uma proposta descritiva de mitos culturais brasileiros com aplicação em PL2E**. Rio de Janeiro: 2013. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/29483/29483.PDF>, acesso em 20 de outubro de 2022.

FURBINO, Z. Pequenos agricultores mineiros fabricam etanol para abastecer veículos próprios. Out de 2013. Disponível em:

<http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2013/10/27/internas_economia,464219

/pequenos-agricultores-mineiros-fabricam-etanol-para-abastecer-veiculos-proprios.shtml>. acesso em 20 de outubro de 2022

MAIA, Arnaldo B. Componentes secundários da cachaça. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 29-35, 1994.

MAPA DA CACHAÇA. **Diferenças entre Cachaça Artesanal e Cachaça Industrial**. Mai de 2011. Disponível em: <<http://www.mapadacachaca.com.br/artigos/diferencas-entre-cachaca-artesanal-e-cachaca-industrial/>>. Acesso em 12 de outubro de 2022

MATOS, Maria Auxiliadora Costa. **Introdução à Análise Química**. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/nupis/files/2011/08/Aula-3-Introdu%C3%A7%C3%A3o-Titula%C3%A7%C3%A3o-QUI-094-2018-1-Alunos1.pdf>. Acesso em 05 de maio de 2023

MENDONÇA, Alexandre A.; SILVA, Ricardo T.; SOUZA, Patrícia R. Avaliação de parâmetros físico-químicos e refratométricos em cachaças artesanais e industriais. **Revista Brasileira de Ciência de Alimentos**, v. 34, n. 3, p. 201-212, 2016.

MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução Normativa nº20, de 25 de outubro de 2005**. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=13717>>. Acesso em 15 de outubro 2022

MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça**. Disponível em: <<http://www.mapadacachaca.com.br/download/regulamento-tecnico-para-fixacao-dospadrees-de-identidade-e-qualidade-para-aguardente-de-cana-e-para-cachaca/>>. Acesso em 15 de outubro de 2022.

NASCIMENTO, Renata F. et al. Compostos secundários em cachaças produzidas por diferentes sistemas de destilação. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1325-1330, 2008.

NOVAES, Fernando V. **Microbiologia e contaminantes no processo fermentativo da cachaça**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2014.

RECHE, Rosângela et al. Avaliação química de aguardentes de cana obtidas por destilação em alambiques de cobre, aço inox e sistema misto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 118-124, 2012.

Separação de Substâncias – Cromatografia . Disponível em:

<https://www2.ufjf.br/quimica/files/2018/08/Cromatografia.pdf>. Acesso em 05 de maio de 2023

OLIVEIRA, Ana Marcia Lara. **O Processo de Produção de Cachaça Artesanal e sua importância comercial**. 2010. 43 f. Monografia de Pós Graduação em Microbiologia – UFMG, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/872f9756-afc4-476f-869a-7fac77accd30/content>, acessado em 09 de julho de 2026.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS.

Cachaça artesanal. Brasília, 2017. (Série Estudos Mercadológicos). Disponível em: <[http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/444c2683e8debad2d7f38f49e848f449/\\$File/4248.pdf](http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/444c2683e8debad2d7f38f49e848f449/$File/4248.pdf)>. acesso em 20 de outubro de 2022.

SANTOS, Alisson S. et al. Influência do material do alambique na composição química e sensorial de aguardentes de cana-de-açúcar. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 5, p. 798-804, 2011.

SILVA, Ana Carolina Oliveira Braga. **Avaliação Das Características Físico-Químicas Da Cachaça Produzida Na Região De São Bernardo – MA**. 2025. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Licenciatura em Ciências da Natureza/Química) – Centro de Ciências de São Bernardo, Universidade Federal do Maranhão, Maranhão, 2025.

SILVA, José Humberto da; SILVA, Mariana R. Composição química e parâmetros físicos de qualidade em cachaças artesanais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 4, p. 1531-1542, 2018.

SILVEIRA, Marcos A. **O papel do cobre na destilação de cachaça de alambique**. Belo Horizonte: Epamig, 2008.

SORA, Gislane T. S. et al. Avaliação da qualidade físico-química de cachaças comerciais. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 71, n. 3, p. 488-496, 2012.

SOUZA, João Carlos de; LIMA, Maria Fernanda. Interferência do extrato seco na determinação densitométrica de etanol em bebidas destiladas. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 40, n. 1, p. 45-56, 2019.

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni (org.). **Bebidas alcoólicas**: ciência e tecnologia. São Paulo: Blucher, 2010. v. 1

VITTI, G.C., MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 16p. (Encarte técnico / Informações Agronômicas). Disponível em: <https://xdocz.com.br/doc/manejo-da-cana-de-aucar-jvod1y3wg6o6>. Acesso em 25 de outubro de 2022

ZACARONI, Lidiany M. et al. Caracterização físico-química de cachaças produzidas em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 763-771, 2011.